



Ediciones
Uleam

Congresos, talleres
y eventos científicos

**LAS INVESTIGACIONES
EN LAS CIENCIAS
TÉCNICAS.
Un aporte desde
las ingenierías**

Compiladores:

Darío Páez Cornejo

Ramón Pérez Leira

Jacqueline Domínguez Gutiérrez

Abel Zambrano Mejías

Milton Moreano Alvarado

Mercedes Alemán García

Ángel Mauricio Espinoza Cotera

Las Investigaciones en las Ciencias Técnicas.

Las Investigaciones en las Ciencias Técnicas.

Un aporte desde las ingenierías

Compiladores:

Ing. Darío Paez Cornejo, MSc.

Ing. Ramón Pérez Leira, PhD.

Arq. Jacqueline Domínguez Gutiérrez, PhD.

Ing. Abel Zambrano Mejía, MSc.

Ing. Milton Moreano Alvarado, MSc.

Ing. Mercedes Alemán García, PhD.

Ing. Ángel Mauricio Espinoza Coterá, MSc.





Este libro ha sido evaluado bajo el sistema de pares académicos y mediante la modalidad de doble ciego.

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Ciudadela universitaria vía circunvalación (Manta)
www.uleam.edu.ec

Autoridades:

Miguel Camino Solórzano, Rector
Iliana Fernández, Vicerrectora Académica
Doris Cevallos Zambrano, Vicerrectora Administrativa

Las investigaciones en las ciencias técnicas.

Un aporte desde las ingenierías

© Compiladores: Darío Paez Cornejo, Ramón Pérez Leira, Jacqueline Domínguez Gutiérrez, Abel Zambrano Mejía, Milton Moreano Alvarado, Mercedes Alemán García, Ángel Mauricio Espinoza Cotera.

Consejo Editorial: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Director Editorial: Fidel Chiriboga Mendoza
Diseño de cubierta y maquetación : José Márquez Rodríguez
Estilo, corrección y edición: Alexis Cuzme Espinales

ISBN: 978-9942-775-76-4

Edición: Primera. Agosto 2019. Publicación impresa.

Editorial Universitaria

Ediciones Uleam

(Ciudadela Universitaria ULEAM, Ex sede ASOET segundo piso)

2 623 026 Ext. 255

Correo electrónico: editorial.uleam@gmail.com

Repositorio digital: www.munayi.uleam.edu.ec/uleam-ediciones

Registro y sistema de Gestión editorial: www.munayi.uleam.edu.ec/segup

Manta - Manabí - Ecuador

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí deja asentado que el contenido de esta obra es de total responsabilidad de su autor o autores. Por lo tanto, la Editorial Universitaria y la universidad no se responsabilizan de acciones legales que puedan suscitarse hoy o en el futuro.

© Autores:

Acebo Arcentales Aleph Salvador
Alemán García Mercedes
Alvarado Rodríguez Ronnie
Aragundi Cuadros Luis
Aveiga Falcones Dany Marón
Ávila Vera Simón
Baque Solís Javier
Barberán Castro Manuel Ignacio
Barberán Quijije Jhon
Cabrera Estupiñán Eric
Cano Gordillo Carlo Alonso
Castro García Oliver
Cedeño Caicedo Héctor Germán
Cedeño Muñoz Horacio
Cevallos Reyes Jesús Andréé
Cifuentes Cevallos Luis Alfredo
de la Rosa Rosales Yusnier Enrique
Delgado Anchundia Henry Emilio
Delgado Castro Geovanny
Domínguez Gutiérrez Jacqueline
Empuño Briones Gelacia Stephania
Escalona Reyes Miguel
Espín León Marguith
Espinoza Cotera Ángel Mauricio
Flores Toala Jeniffer
García Mejía Jonathan
González Silva Marco Antonio
Gutiérrez Lino José Ivan
Hinojosa García Marcos Israel
Intriago Vera Leyber
Junqui Cedeño Alex
Lemache Calle Jordy Arturo
Macías Ávila Carlos Andrés
Manouris Eváγγελos
Manzaba Carvajal Jordan René
Mendoza Briones Adrián Ricardo
Mendoza Palma Pamela Edelviz
Mero Baque Gustavo
Mero Santana Ítalo
Mieles Pico Ramón Agustín

Morán Guzmán Alexi Óscar
Moreano Alvarado Milton
Moreira Borja Gladys
Moreira Muñoz Carlos Geovanny
Navia Ordoñez David Agustín
Ochoa Lucas Holger
Oleas Escalante Marcelo
Ostaíza Panchana Katherine
Páez Cornejo Darío
Paredes Mera Francisco Javier
Párraga Chila Cristhian Antonio
Pérez Leira Ramón
Pico Pillasagua Juan Carlos
Piloza Pin Karina
Pinargote Valle Jean Ponce Jara
Marcos
Ponce Minaya Edwin
Ponce Quiroz Anthony
Rodríguez Andrade Yuri Mauricio
Rodríguez Olivera Juan Luis
Ruiz Muñoz María Cecilia
Salas Giler María José
Salgado Chávez Wendy Carolina
Santana Chávez Cristhian Fabián
Serrano Vizuete Sebastián Eduardo
Solórzano Fernández Miriam
Terán Lozano Israel
Toala Macías José Roberto
Velásquez Figueroa Carlos Alberto
Velásquez Pinargote Karen Paola
Vera Chiluita Daniela
Villavicencia Mejia Raul
Yugcha Macías Christian Adrián
Zambrano Gómez José Darío
Zambrano Mejia Abel
Zambrano Zamora Adilson Santiago

Prólogo

Son más complejos los retos que debe asumir la Ingeniería en estos tiempos si se compara con las décadas anteriores. Contextualizar sus enfoques dentro de un mundo globalizado, sujeto a la innovación continua y al impacto de grandes avances tecnológicos sobre toda la sociedad no es tarea fácil de comprender y asumir.

Los países en vías de desarrollo enfrentan además un obstáculo adicional: la imposición de propuestas tecnológicas provenientes de países desarrollados como vía de “solución” a las crisis económicas que limitan el desarrollo autóctono de las naciones.

Las propuestas de los ingenieros deben asegurarse de garantizar al menos tres aspectos para asegurar el éxito sostenido en el tiempo: permitir el uso de las tecnologías en favor de mejorar la calidad de vida de toda la sociedad, aportar a la conservación y modernización de la infraestructura del país y propiciar, además, un desarrollo sostenible.

Las universidades son por su naturaleza, una fuente de renovación del conocimiento y de cambio social. Su impacto se hace efectivo cuando se logra la integración de los procesos sustantivos que la definen: docencia-investigación-vinculación con la sociedad.

En Ecuador las instituciones de Educación Superior han evidenciado un incremento significativo de su producción científica en los últimos cinco años como consecuencia de las nuevas políticas que se han implementado.

La Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), fundada el 13 de noviembre de 1985, con su sede en Manta, mantiene una oferta académica de 32 carreras en la tercera provincia del Ecuador con una población superior al millón doscientos mil habitantes. La producción científica de esta universidad ha tenido un incremento notable en los últimos años, razón por la cual en el momento actual se ubica en la posición 24 de todas las universidades del Ecuador y en el primer lugar

de las cinco universidades de Manabí.

La Facultad de Ingeniería ha tenido una contribución importante en este resultado, logrado a partir de un trabajo sostenido en los últimos tres años por parte de sus autoridades y de un vínculo fortalecido entre profesores y estudiantes para asumir proyectos y tareas de investigación desde la dimensión curricular y enfocada hacia la problemática de su entorno.

En este libro se recogen, en 33 artículos organizados en 5 capítulos, los resultados más relevantes de la Facultad de Ingeniería desde sus tres carreras, logrados hasta febrero de 2018.

Sirva esta obra como una modesta evidencia de ese aporte necesario que hace la ULEAM a su ciudad y a su país.

Ramón Pérez Leira

SUMARIO

CAPÍTULO I: GESTIÓN DE OBRAS	13
Introducción	13
Análisis técnico – económico de los bienes patrimoniales inmuebles del cantón Chone	19
Análisis técnico del deterioro de los bienes patrimoniales–inmuebles del cantón Montecristi como consecuencia del I6A	45
Análisis técnico económico del deterioro de los bienes patrimoniales inmuebles de Manabí como consecuencia del I6A	67
Análisis del comportamiento estructural a edificio afectado el 16 de abril de 2016.	85
Análisis de estructuras con base rígida versus interacción suelo-estructura con propiedades en suelos de Manta	103
Análisis comparativo económico- estructural de reforzamiento del edificio residencia Alfaro afectado por el terremoto del I6A	121
Módulo de elasticidad del hormigón para resistencias de 210 - 240 kg/cm ² producidos en Manta	141
Propuesta de procedimiento para diseño de mezclas asfálticas drenantes conforme a la metodología Marshall y Cántabro.	159
La práctica de la geotecnia en la formación de Ingenieros Civiles.	181
Importancia de la geotecnia en el estudio de movimientos en masa (deslizamiento puerto de San Mateo).	197
Susceptibilidad de licuefacción de los suelos en la zona Tarqui	213

CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS231

Introducción	231
Estudio del régimen de precipitaciones para proyectos de riego en Manabí-Ecuador	237
Estudio del comportamiento de la evapotranspiración del cultivo referencia para proyectos de riego en Manabí-Ecuador	249
El riego en el Proyecto Multipropósito Chone: estudio de las propiedades hidrofísicas de los suelos.	261
Análisis del régimen de riego para cultivos de interés económico en el cantón Chone-Ecuador.	279
Análisis del régimen de riego para cultivos de interés económico en el cantón Sucre-Ecuador.	295
Determinación del periodo de retención hidráulica en el tratamiento sanitario mediante una laguna aeróbica	315
Variación del periodo de retención hidráulica en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de maduración	333
El agua residual como recurso de nutrientes	347

CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RECURSOS

ENERGÉTICOS367

Introducción	367
Diseño de un sistema de generación fotovoltaico aislado para la comunidad Río Blanco del cantón Puerto López	369
Automatización aplicada a una empresa molinera, mediante el análisis de un Sistema de Control Pid.	391
Aplicación de software de monitoreo y registro de energía como herramienta de gestión energética en la industria atunera.	404
Estudio de un sistema de climatización de aire con tecnología de	

acondicionamiento de aire con agua de mar	422
Aplicación de un sistema de gestión energética en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval	449

CAPÍTULO 4: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

DE EQUIPOS.	469
Introducción	469
Diseño y construcción de un banco de pruebas de vibraciones para la optimización del picosatelite hexasat	473
Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión acelerada en materiales del sector marítimo	487

CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DE LAS

CIENCIAS A LA INGENIERÍA.	557
Contextualización de la enseñanza de las matemáticas en la formación de ingenieros civiles de la Uleam	559
Uso de la tic's y su incidencia en el proceso formativo de los estudiantes de Ingeniería	577
Programa para cálculo de peldaños de escaleras de madera . .	593
Aplicación de la tecnología cadena de bloques (blockchain) en el registro inmobiliario en la ciudad de Manta	611
Propuesta del hielo líquido como método de conservación en la pesca artesanal ecuatoriana	621

Anexos	647
------------------	-----

CAPÍTULO 1: GESTIÓN DE OBRAS

Introducción

En el presente capítulo denominado “Gestión de obras”, se presentan 11 artículos con temáticas relacionadas al análisis técnico económico del deterioro de los bienes patrimoniales inmuebles en cantones de la provincia de Manabí, respuesta estructural de edificaciones de la ciudad de Manta post-sismo del 16 de abril de 2016, propuesta de un sistema de ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón en Manta y propuesta de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos con materiales locales, la ingeniería geotécnica en la gestión de obras y terremotos lentos en la tectónica de placas.

Los trabajos presentados en este capítulo son parte de los resultados de los proyectos de investigación “Análisis Técnico-económico del deterioro de los Bienes patrimoniales, Bienes Inmuebles de la provincia de Manabí” y “Análisis de las características sismológicas de la ciudad de Manta”, los cuales se encuentran adscritos al programa de investigación “Gestión de obras” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ULEAM. Los proyectos de investigación cuentan con la participación de docentes y estudiantes de la ULEAM, especialistas del Instituto Geográfico Militar (IGM) y docentes de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.

El trabajo “Análisis técnico – económico de los bienes patrimoniales inmuebles del cantón Chone”, presenta el análisis patológico de 4 Bienes Patrimoniales Inmuebles ubicados en la Parroquia Urbana del cantón Chone desde el punto de vista técnico y económico, determinando el deterioro acumulado en las edificaciones a partir de la definición de las lesiones presentes en cada una de sus partes componentes, los niveles de

conservación y posterior definición del Estado Técnico Constructivo de cada uno de los inmuebles estudiados. El estudio define una propuesta de Actuación Constructiva y calcula para cada caso el Indicador de Costo de Rehabilitación y el Costo Total de Rehabilitación en las edificaciones analizadas en la zona de estudio a partir del deterioro presente en cada una de ellas.

En el artículo “Análisis técnico del deterioro de los bienes patrimoniales–inmuebles del cantón Montecristi como consecuencia del 16A”, se presenta el análisis de las fachadas patrimoniales inventariadas por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), con las que se profundizó mediante una primera evaluación del deterioro por el tiempo y otra segunda evaluación comparativa del antes y después de los efectos creados por el terremoto del 16/04/2016 aplicado a las fachadas, un análisis completo de todos sus elementos (Cerramientos, Revestimientos, Carpintería, Voladizos y Elementos Singulares).

En la investigación “Análisis técnico económico del deterioro de los bienes patrimoniales inmuebles de Manabí como consecuencia del 16A”, se detalla el análisis patológico de 169 viviendas inventariadas por el INPC como bienes patrimoniales – bienes inmuebles, ubicadas en los cantones Portoviejo, Sucre, Manta, Jama, Jipijapa y Montecristi. Presenta el estado técnico constructivo de las edificaciones y el impacto económico, a partir de los niveles de deterioro determinados antes y después del sismo; definiendo así los efectos del terremoto y el tipo de lesiones más frecuentes por zonas de estudio.

En el trabajo “Análisis del comportamiento estructural a edificio afectado el 16 de abril del 2016”, se presenta los resultados del análisis estructural realizado a 4 bloques de una edificación de la ULEAM por tres metodologías diferentes: análisis espectral, análisis tiempo historia y análisis estático no lineal. Se utilizan los espectros de respuesta obtenidos a partir del sismo del 16A para la ciudad de Manta en las

dos componentes ortogonales.

El artículo “Análisis de estructuras con base rígida versus interacción suelo-estructura con propiedades en suelos de Manta”, estudia la diferencia que existe en la respuesta dinámica de estructuras considerando la base rígida versus la flexibilidad en la base a través de la interacción suelo-estructura, para suelos característicos de la ciudad de Manta. Se analizaron tres estructuras por el método estático y dinámico, ante diferentes escenarios en cuanto a tipo de suelo y tipo de restricción en la base.

El trabajo “Análisis comparativo económico-estructural de reforzamiento del edificio Residencia Alfaro afectado por el terremoto del 16A”, muestra dos propuestas de reforzamiento estructural con muros de corte y con ensanchamiento de columnas, valoradas mediante un análisis económico – estructural para rehabilitar el edificio Residencia Alfaro. Presenta los resultados de ensayo de materiales destructivos y no destructivos, utilizados como datos de entrada para la modelación. Para las dos propuestas, los resultados obtenidos en cuanto a derivas de piso, periodos y modos de vibración cumplen con los requerimientos estipulados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (vigente).

Atendiendo a la problemática de la modelación en el análisis estructural, en el artículo “Módulo de elasticidad del hormigón para resistencias de (210 – 240) kg/cm² producidos en Manta”, se propone una ecuación para determinar el módulo de elasticidad del hormigón producido en la ciudad de Manta. Se analizaron los resultados de los especímenes de hormigón preparados en la hormigonera “Ciudad Rodrigo” de la ciudad de Manta, las cuales corresponden a resistencias de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² ensayados a los 7, 14 y 28 días utilizando la normativa ASTM C469. Se demuestra mediante ensayos realizados que el módulo de elasticidad difiere del valor obtenido mediante las ecuaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 y del Código ACI.

El trabajo “Propuesta de procedimiento para diseño de mezclas asfálticas drenantes conforme a la metodología Marshall y Cántabro”, es una guía metodológica de diseño de mezclas asfálticas drenantes mediante la utilización de un conjunto de normativas nacionales e internacionales aplicando los ensayos Marshall y Cántabro. La investigación demuestra que a nivel general el método de ensayo Marshall para asfalto drenante es el método de diseño de mezcla más ampliamente utilizado para el estudio experimental de laboratorio en la actualidad. Se concluye que la metodología Marshall y Cántabro son aplicables a los materiales locales para la elaboración de mezclas asfálticas drenantes, debido a que una vez realizado los diseños con los diferentes porcentajes de asfalto y aditivo se logró obtener un porcentaje óptimo de asfalto para cada diseño y resultados que se encuentran dentro de las especificaciones.

En el artículo “La práctica de la geotecnia en la formación de ingenieros civiles”, se estudia la simetría aplicada a la geotecnia en la problemática del esfuerzo de un suelo saturado sin filtración y el incremento del esfuerzo vertical debido a varios tipos de carga, con un enfoque didáctico para la comprensión y motivación del estudiante de ingeniería.

El trabajo titulado “Importancia de la geotecnia en el estudio de movimientos en masa (deslizamiento Puerto de San Mateo)”, explica las causas detonantes para el inicio del deslizamiento del talud en la vía San Mateo en el acceso al Puerto Pesquero en la abscisa 0+070, producto del sismo de 05 de abril de 2017. Se muestran las fisuras en la vía, el asentamiento de la vía y el deslizamiento. Se explica las posibles soluciones técnicas para la estabilización del talud.

En la investigación “Susceptibilidad de licuefacción de los suelos en la zona Tarqui”, se muestra los datos obtenidos mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), ensayos de clasificación del suelo, límites de Atterberg y el porcentaje de finos del suelo, para los cálculos se utilizó las metodologías de Seed e Idriss y Tokimatsu Yoshimi. Se determina

que la zona de Tarqui presenta un potencial de licuefacción muy elevado. De acuerdo a las metodologías utilizadas se pudo observar estratos licuables en doce perforaciones realizadas en diferentes partes de la zona de estudio, siendo la zona con mayor influencia las que presentaban estratos de suelo con un nivel freático entre 1m y 1,5 m.

ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE LOS BIENES PATRIMONIALES INMUEBLES DEL CANTÓN CHONE

Gelacia Stephania Empuño Briones

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: tefa_0707@hotmail.com

Jesús Andreé Cevallos Reyes

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: andre_cr31@hotmail.com

Jacqueline Domínguez Gutiérrez

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Arquitecta y Doctora en Ciencias Técnicas. Manabí, Ecuador.

Correo: jarqui888@gmail.com

Resumen

Durante las últimas décadas, la preocupación por el patrimonio edificado se ha incrementado en los ámbitos nacionales e internacionales ya que las edificaciones experimentan deterioro a lo largo de su vida útil, lo que incrementa la necesidad de realizar acciones constructivas que lleven a su rehabilitación, ganando mayor importancia en las viviendas patrimoniales por su grado de antigüedad y deterioro acumulado. Con el objetivo de analizar técnica y económicamente los Bienes Patrimoniales Inmuebles del cantón Chone se realizó la presente investigación. Se efectuó el análisis patológico de 4 Bienes Patrimoniales Inmuebles ubicados en la Parroquia Urbana del cantón Chone desde el punto de vista técnico y económico, lo que permitió determinar el deterioro acumulado en las edificaciones a partir de la definición de las lesiones presentes en cada

una de sus partes componente, los niveles de conservación y posterior definición del Estado Técnico Constructivo de cada uno de los inmuebles estudiados. El estudio define una propuesta de Actuación Constructiva y calcula para cada caso el Indicador de Costo de Rehabilitación y el Costo Total de Rehabilitación en las edificaciones analizadas en la zona de estudio a partir del deterioro presente en cada una de ellas. Se realiza la comparación entre las edificaciones estudiadas sobre la base de las variables que intervienen en el análisis. El trabajo presentado forma parte del Proyecto de investigación: “Análisis Técnico-Económico del deterioro en Bienes Patrimoniales Bienes Inmuebles de la provincia de Manabí” aprobado por la ULEAM.

Palabras clave: Estudio patológico, Bienes Patrimoniales Inmuebles, Análisis Técnico-Económico.

TECHNICAL - ECONOMIC ANALYSIS OF BUILDINGS WITH HERITAGE VALUE OF THE CANTON CHONE

Abstract:

During the last decades, the concern for the built patrimony has increased in the national and international scopes since the buildings experience deterioration throughout their useful life, which increases the need to carry out constructive actions that lead to their rehabilitation, winning greater importance in patrimonial housing due to its degree of antiquity and accumulated deterioration. With the objective of technically and economically analyzing the buildings with heritage value of the Chone canton, the present investigation was carried out. The pathological analysis of 4 buildings with patrimonial value located in the Urban Parish of the Chone Canton from the technical and economic point of view was made, which allowed to determine the accumulated deterioration in the buildings from the definition of the lesions present in each of its

component parts, conservation levels and subsequent definition of the Technical Construction Status of each of the properties studied. The study defines a proposal for a Constructive Action and calculates for each case the Rehabilitation Cost Indicator and the Total Cost of Rehabilitation in the buildings analyzed in the study area based on the deterioration present in each one of them. The comparison between the studied buildings is made on the basis of the variables that intervene in the analysis. The work presented is part of the research project: “Technical-Economic Analysis of deterioration in buildings with heritage value of the province of Manabí” approved by the ULEAM.

Keywords: Pathological study, Real estate assets, Technical-Economic analysis

Introducción

El patrimonio es conocido como el conjunto de bienes, derechos y obligaciones que puede llegar a tener una persona o una institución, a nivel mundial. Los diferentes países han llegado a enriquecer su cultura al preservar y aumentar su patrimonio cultural material, el cual es la herencia cultural propia del pasado de una comunidad que poseen un especial interés histórico, artístico, arquitectónico, urbano y arqueológico. (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2017)

Dentro del Ecuador los ámbitos patrimoniales están divididos en bienes arqueológicos, colecciones arqueológicas, bienes muebles y los bienes inmuebles. En 1978 se crea mediante el Decreto Supremo 2600 el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) que es el ente encargado de investigar, conservar, preservar, restaurar, exhibir y promocionar el Patrimonio Cultural en el Ecuador; así como regular, de acuerdo a la ley, todas las actividades de esta naturaleza que se realicen en el país. (INPC, 2016)

Los bienes inmuebles que son considerados patrimonio cultural

dentro de la costa ecuatoriana no han tenido el adecuado cuidado ni mantenimiento, por esto se presentan un sin número de lesiones, sean leves, medias o graves, lo cual indica que el bien debe tener algún grado de rehabilitación. Las lesiones que se pueden observar en edificaciones, que ya han sido consideradas patrimonio cultural, son extensas debido a las diferentes formas constructivas que se aplicaban en el momento en que fueron construidos dependiendo de la zona en que se encontrasen y del material que fuera utilizado, mencionando también el uso para el que haya sido construida y el que se le esté dando en la actualidad. El deterioro en los inmuebles está ligado a la influencia de los fenómenos medio ambientales y del bajo mantenimiento que pueden llegar a tener. El presente trabajo estudiará el total de 4 edificaciones que están ubicadas dentro del cantón Chone. Luego de conocer que el objeto de estudio son los bienes inmuebles patrimoniales y sus lesiones, ubicados en una zona sin límites costeros, surge la siguiente interrogante: ¿Cómo determinar el deterioro de los Bienes Patrimoniales Inmuebles del cantón Chone a partir de su análisis técnico y económico? Para dar respuesta a la interrogante planteada se define como objetivo de la investigación: “Analizar técnica y económicamente los Bienes Patrimoniales Inmuebles del cantón Chone”; para lo cual se definen varios estudios a realizar entre los cuales se encuentran: examinar la experiencia nacional e internacional relacionada con la conservación y el deterioro de las edificaciones; realizar el diagnóstico patológico de las edificaciones ubicadas en el cantón de Chone y hacer la valoración económica de la rehabilitación en función del deterioro de los Bienes Patrimoniales Inmuebles estudiados a partir de la definición de la actuación constructiva más eficaz para cada uno de los inmuebles estudiados.

Desarrollo:

Patrimonio Cultural

El interés de especialistas y entidades internacionales por la Conservación del Patrimonio comienza a tomar fuerza en el siglo XX, realizándose en diversos países eventos sobre esta temática y redactándose documentos cuyo motivo o tema principal era la conservación del patrimonio. (Domínguez, 2015). Otro momento importante fue en 1975, cuando se celebró en Ámsterdam el Congreso sobre el Patrimonio Arquitectónico Europeo (ICOMOS, 1976), en este evento el Comité de Ministros del Consejo de Europa redactó la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico, abordándose las siguientes problemáticas: las ciudades antiguas y los pueblos tradicionales, la diversidad, la utilización del patrimonio como fuente económica, el equilibrio armonioso de las sociedades, el valor educativo, la conservación integrada y la justicia social. (Domínguez, 2015). En la Conferencia Internacional “Cracovia 2000” se redacta la Carta de Cracovia, donde se anuncian los principios de conservación y restauración del patrimonio construido en el cual se toca el tema acerca de la diversidad cultural y es donde se presenta el concepto de gestión del cambio. Así mismo, en los posteriores años se comenzó a divulgar el mensaje sobre la recuperación de la memoria y de la herencia cultural que se les estaría dejando a las futuras generaciones, permitiendo así que en la actualidad existan una gran variedad de eventos, organizaciones internacionales y documentos que se encuentran direccionadas a la conservación y valoración del Patrimonio. Estas intervenciones sobre el rescate del patrimonio no sólo iban dirigidas a las monumentales y simbólicas obras arquitectónicas, sino también al vasto fondo edificado que poseen las ciudades, los cuales a lo largo de los años van adquiriendo mayores valores, pero a su vez acumulan elevados niveles de deterioro. La necesidad de detener la pérdida de valores debido al progresivo deterioro constructivo y el costo socioeconómico que implica, ha marcado

un camino de estudio en función de su conservación. (Domínguez, 2015)

Ecuador también ha dirigido una visión especial sobre el tema de la conservación y el rescate del patrimonio edificado, a través de la formación de especialistas que abordan esta temática en sus investigaciones, con el establecimiento de leyes y la creación de instituciones que velan por el patrimonio cultural y la riqueza artística e histórica de la nación como lo es el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) (Consejo Supremo de Gobierno, 1978). “La preocupación por conservar el fondo construido que poseen las ciudades, formado en su mayoría por edificios que han culminado su ciclo de vida útil, pero que forman parte del legado histórico a las futuras generaciones y merecen ser conservados” (Throsby, 2007), por este se ha generado el estudio de los diferentes niveles de deterioro que puede haber en una edificación, las patologías que este llegase a presentar, cuáles son sus causas así como también cuáles son sus soluciones por parte de importantes especialistas.

La Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO es un legado de monumentos y sitios de una gran riqueza natural y cultural que pertenece a toda la humanidad. Los Sitios inscritos en la Lista de Patrimonio Mundial cumplen una función de hitos en el planeta, de símbolos de la toma de conciencia de los Estados y de los pueblos acerca del sentido de esos lugares y emblemas de su apego a la propiedad colectiva, así como de la transmisión de ese patrimonio a las generaciones futuras. Es por ello que, al ser también los monumentos y los sitios lugares de desarrollo sostenible y de reconciliación, la UNESCO interviene activamente y coordina las acciones de sus socios administrando la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural. Actualmente, la Lista de Patrimonio Mundial cuenta con más de mil sitios inscritos, entre los cuales se encuentran bienes culturales, naturales y mixtos, situados en 167 Estados Partes.

El Ecuador es uno de los países más pequeños de América Latina, sin

embargo, tiene diversos lugares avalados por la UNESCO como patrimonio natural y cultural, entre ellos La Ciudad de Quito, Las Islas Galápagos, El Parque Nacional Sangay, El Centro Histórico de Santa Ana de los Ríos de Cuenca y El Sistema vial Andino Qhapac Ñan. (UNESCO, 2017)

Cuando se dictamina que un sitio es patrimonio natural o cultural, automáticamente se convierte en un tesoro para la humanidad, más allá de pertenecer a un determinado país, este pasa al cuidado de un comité internacional. (Figura 1). La inversión realizada por el Gobierno Nacional, a través del Decreto de Emergencia de Patrimonio Cultural, en la provincia de Manabí sobrepasa el millón de dólares, incluye los trabajos de restauración de bienes inmuebles, arqueológicos, colocación de equipos de seguridad y fumigación en varios contenedores, además del trabajo de Inventario o Registro de Bienes Culturales.



Figura 1: Sitios ecuatorianos avalados por la UNESCO como Patrimonio

Análisis Patológico de los Bienes Inmuebles

Si se analiza la palabra patología, etimológicamente hablado, se puede saber que proviene del griego pathos y logos, lo cual significa enfermedades y estudio respectivamente, concluyendo como el estudio de las enfermedades. Una patología constructiva será aquella que estudie las

“enfermedades” o defectos que posea una edificación. (López, Rodríguez, y col., 2014). Estas llamadas patologías pueden llegar a ser originadas por varios motivos, como lo son: clima muy caluroso y húmedo, fallas en el cálculo estructural, falla en el diseño, falta de organización en la obra, desconocimiento de especificaciones técnicas, etc. Sabiendo el origen, causas, evolución, síntomas y estado de un proceso patológico y con los datos mencionados anteriormente los profesionales de la construcción tendrán la capacidad de decidir qué clase de reparación podría ser utilizada para detener el proceso patológico observado. En un proceso patológico la mejor manera para su estudio es observar principalmente el resultado de la lesión, luego el síntoma que presenta y así mismo conocer la evolución que ha tenido hasta llegar al origen o causa. Pudiendo así establecer cuál estrategia de reparación tomar. Luego de que una edificación ha sufrido un deterioro de sus elementos en su integridad o aspecto pierde su función constructiva lo cual implica que es necesaria una rehabilitación, lo cual permitirá recuperar sus funciones principales por medio de distintas actuaciones.

Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir, el síntoma final del proceso patológico (Comerma, 2006). Las lesiones presentadas en una edificación pueden ser de diferentes tipos, los cuales son necesarios conocerlos ya que aquí es el punto de partida para realizar todo el estudio patológico necesario y su tratamiento. Se pueden presentar lesiones primarias que son aquellas que se presentan en primer lugar debido a una patología y las lesiones secundarias son aquellas que surgen como consecuencia de una lesión primaria. El tipo de lesiones que pueden llegar a aparecer va a variar dependiendo de los materiales utilizados y de los métodos constructivos utilizados al momento de construir, pero de forma general podemos dividir a las lesiones en tres familias que dependerá de su carácter y su tipología del proceso patológico, las cuales pueden ser: Lesiones Físicas,

Lesiones Mecánicas y Lesiones Químicas.

El conjunto de actuaciones a realizar en una edificación destinadas a recuperar el estado constructivo y devolver a la unidad lesionada su funcionalidad arquitectónica original para devolverle su estado original y eliminar las lesiones presentes es muy amplia; estas pueden ser reparación, restauración, rehabilitación, prevención entre otras, en función del deterioro que presente el bien inmueble y el alcance de los trabajos a realizar. Solo se comienza este proceso una vez descrito el proceso patológico, con su origen o causa y la evolución de la lesión (Comerma, 2006). Cuando la lesión que afecta a la edificación es descubierta a tiempo conociendo por ende su causa la actuación será un proceso sencillo, caso contrario se puede presentar una edificación donde haya que utilizar una sustitución total o parcial de la unidad constructiva en donde se encuentre el foco de la lesión. Para que una acción constructiva tenga éxito es necesario trabajar en dos fases: Actuar sobre la causa o causas que originan el proceso patológico y solamente luego de haber actuado sobre aquella causa se podrá actuar sobre las lesiones en sí. Al momento de tomar las medidas pertinentes es necesario recordar que el área afectada no es un cuerpo independiente, pues trabaja como un todo en conjunto con los demás elementos constructivos de la edificación por lo cual también es necesario que exista compatibilidad entre los materiales ya existentes y los utilizados.

Para la elaboración de un análisis completo de los bienes patrimoniales inmuebles, se necesita un sistema que otorgue indicadores económicos de precios fijos y muestra de materiales básicos para el análisis y determinación de la patología, por lo cual es necesario el estudio de una metodología que analice el estado de conservación de la edificación y la pérdida de valor que para cada caso se estima (Salas Giler, 2015). Con este propósito se produce el estudio de indicadores de precios de construcción, el cual es de gran importancia en cuanto a los ajustes relacionados a la

reconstrucción y mantenimiento de patrimonios inmuebles. Sin embargo, la naturaleza del mercado de vivienda dificulta la estandarización a la hora de elaborar un índice. De aquí el estudio significativo de los diversos aspectos económicos que se pueden presentar en los bienes inmuebles al momento de ser intervenidos van ligados a una propuesta que incluye todas las características del mismo, así como la calidad de la edificación, la antigüedad que posee, el estado arquitectónico-estético, el estado técnico constructivo entre otros. Es por eso que los indicadores económicos para los bienes patrimoniales inmuebles llevan a considerar la riqueza patrimonial estos representan como algo que no debe ser tomado a la ligera sino emprender su utilización de la manera más acertada posible con el fin de garantizar estándares de calidad y mejoramientos notables.

Cantón Chone

El cantón Chone se encuentra en la zona costa del Ecuador; dentro de la provincia de Manabí. Limita con los cantones Pedernales, Jama, Sucre, San Vicente, Tosagua, Bolívar, Pichincha, Flavio Alfaro y El Carmen. Es el cantón con mayor territorio de Manabí, tiene 9 parroquias divididas en 2 urbanas y 7 rurales (Figura 2). Chone se encuentra dentro de la zona afectada por el terremoto sucedido el 16 de abril del 2016, habiendo edificaciones que colapsaron en su totalidad y otras que resultaron con lesiones graves, medias y leves. A pesar de formar parte de la costa ecuatoriana, no limita con las playas manabitas; por lo cual no está directamente afectado por el ambiente marino de la costa. El cantón posee 28 Bienes de interés patrimonial dentro de la categoría de Patrimonio inmueble, entre los cuales se encuentran 26 viviendas, un puente de línea férrea y una iglesia.



Figura 3: Bienes Patrimoniales Inmuebles (Viviendas). Cantón

Metodología

Se realizó un Estudio Analítico Transversal, en el cantón Chone de la Provincia de Manabí a partir del estudio de los Bienes Patrimoniales – Bienes Inmuebles que se encuentran ingresados como “Inventario” por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). La muestra de estudio se compuso de 4 viviendas ubicadas en el cantón Chone de la Provincia de Manabí en la Parroquia Urbana (Figura 3); todos los Bienes Inmuebles corresponden a fichas de inventario del INPC con los siguientes códigos de identificación (IBI-13-03-01-000-000023, IBI-13-03-01-000-000004, IBI-13-03-01-000-000017, IBI-13-03-01-000-000010).

Para el estudio patológico se utilizó la metodología de Tejera y Álvarez (2012) la cual parte de 22 fichas de inspección correspondientes a los 6 Elementos Constructivos definidos para la edificación objeto de estudio (Estructura, Fachadas, Cubiertas, Instalaciones, Elementos Comunes y Elementos Privados).

El llenado de las fichas permitió definir para cada uno de los inmuebles estudiados los síntomas presentados, las lesiones más comunes en los

elementos y por consiguiente su respectivo nivel de daño. También se obtuvo diferentes características de la vivienda como las modificaciones del estado original, las características generales y materiales, las modificaciones realizadas en el bien inmueble desde su origen, lesiones presentadas en cada elemento junto a su porcentaje de nivel de daño.

Esta información recopilada en las Fichas de Inspección detallada se procesó en la tabla ponderada donde se colocaron los niveles de daño en función de un porcentaje para cada uno de los Elementos Componentes de la edificación, ya antes mencionado en las fichas. En esta tabla es evaluado el estado de conservación que tiene la vivienda en los elementos analizados, obteniendo un valor de puntuación total del bien inmueble patrimonial correspondiente al Estado Técnico Constructivo lo que permitió con posterioridad definir una clasificación de dicho Estado Técnico Constructivo (ETC) total de las viviendas. La cual define entre 100% - 80% Clasificación de Muy Bueno; 60% - 80%, Bueno; 40% - 60%, Regular; 20% - 40%, Malo y menor de 20% Inservible.

Una vez obtenido el nivel de daño y el estado técnico constructivo de los bienes inmuebles analizados, se realizó el diagnóstico de daños a cada uno. Se estudió las principales causas de las lesiones, tomando en cuenta si estas eran directas o indirectas y se llegó a definir los diferentes niveles de actuación constructiva para cada una de las edificaciones a partir de su deterioro.

A partir del análisis técnico-económico se pudo observar la vialidad que tiene la actuación constructiva en los bienes inmuebles patrimoniales del cantón Chone, para lo cual se utilizó indicadores de costo relacionados con el diagnóstico previamente calculado. La generalidad de las áreas patrimoniales, principalmente urbanas, sufren las presiones del desarrollo económico y la modernización, encontrándose sujetas a la destrucción o abandono por parte de propietarios privados y públicos, generalmente por desconocimiento de su valor y por la falta de incentivos para conservarlos.

(Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2016)

Según Domínguez et al. (2011) la definición de Indicadores de Valor Financiero ($\$/m^2$ y $\$/m^3$) tiene gran importancia, ya que permite evaluar económicamente las soluciones dadas a nuevos proyectos, además de constituir una herramienta en la estimación de presupuestos. En el Ecuador la eficiencia económica en el sector constructivo es orientada por varios factores, entre ellos el Índice de Precios de la Construcción (IPCO), el mismo que mide mensualmente la evolución de los precios en materiales, equipos y maquinarias, esto a su vez tienen el propósito fundamental de que sean aplicados en las fórmulas de reajuste de precios de las obras públicas (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2016). Dentro del Ecuador, se implementa el uso de indicadores como base para diferentes sectores como por ejemplo el de la construcción que trabaja de manera directa con ICA. El Banco del Instituto Nacional de Seguridad Social (BIESS) es uno de los organismos dentro del país que utilizan indicadores para el cálculo de valores de rehabilitación y reconstrucción. Para los cálculos pertinentes en el presente proyecto investigativo se utilizó el Indicador de Costo por Área proporcionado por el BIESS establecido en el cantón Chone. A partir de que en los bienes inmuebles se debe un valor de rehabilitación más no de construcción, fue necesario obtener un Indicador de Costo de Rehabilitación (ICR) partiendo del ICA obtenido por el BIESS y la metodología presentada por González y Domínguez (2015) se aplicó la Ecuación 1.

Ecuación 1: $ICR = (1 - Pts.(ETC)) * (ICA * 0,162)$ (Dónde: ICR: Indicador de Costo de Rehabilitación / Ptos. (ETC): Puntos del Estado Técnico Constructivo / ICA: Indicador de Costo por Área)

Cabe recalcar que los puntos que se utilizan en el Estado Técnico Constructivo de las viviendas se presentaron en función del porcentaje en Buen Estado. Es decir que el Costo de rehabilitación se calculó con la diferencia del 100%, que no es más que la parte en Mal estado y que

comprensiblemente necesita reparación.

Para la obtención del Costo Total de Rehabilitación fue necesario conocer el área de construcción de cada vivienda para utilizar la Ecuación 2.

Ecuación 2: $CTR = ICR * \text{Área de construcción}$ (Dónde: CTR: Costo Total de Rehabilitación / ICR: Indicador de Costo de Rehabilitación)

Luego de calcular el CTR se pudo analizar el impacto económico que tiene el deterioro de edificaciones consideradas Bienes Inmuebles Patrimoniales dentro del cantón Chone.

Resultados y discusión:

Resultado de análisis patológico de los Bienes Inmuebles Patrimoniales del cantón Chone. Fichas de Inspección

En un estudio de los elementos constructivos de los inmuebles estudiados según las fichas de inspección presentaron como característica predominante (100% de los 4 inmuebles estudiados) la presencia de una cimentación en columnas de horcones de madera, estructura tanto vertical como horizontal de madera y cubiertas de madera con hojas de zinc, fachadas con cerramientos de caña revestida (el 75% de los 4 inmuebles), cubiertas de zinc (el 100% de los 4 inmuebles), instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas con tuberías de PVC, mismas que anteriormente fueron de otro material de la época, en su gran mayoría tuberías de hierro que cumplieron su vida útil con el pasar del tiempo (el 100% de los 4 inmuebles).



Figura 2: Cantón Chone

Resumen de incidencias de lesiones de los bienes inmuebles patrimoniales del cantón Chone.

El llenado de las fichas de inspección permitió descubrir las diferentes lesiones y su grado de incidencia por elemento constructivo, reflejándose los resultados de la inspección en las tablas y figuras correspondientes, con ellos también se logró obtener un resumen de lesiones por elemento constructivo con su respectivo porcentaje. El resumen de incidencias de lesiones dio como resultado 148 casos (Figura 4) observando lesiones por suciedad y fisuras como las de mayor presencia con un 23,13% cada una y las de menor presencia lesiones por oxidación y organismo de plantas con 1,36% cada una (Figura 5); y se presentaron 148 casos de lesiones por elemento constructivo observando mayor presencia de lesiones en la estructura horizontal con un 16,89% y en menor presencia lesiones por impermeabilización y acabados con 0,67% (Figura 6)

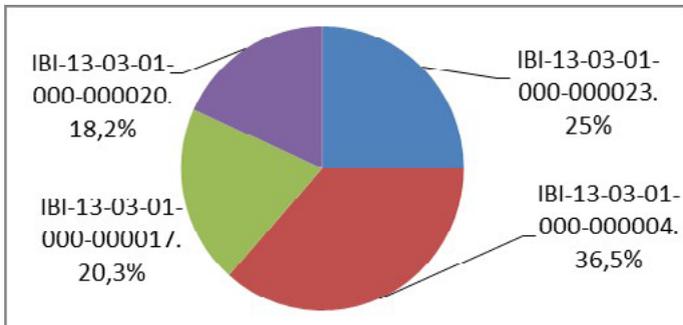


Figura 4: Incidencia de lesiones por vivienda

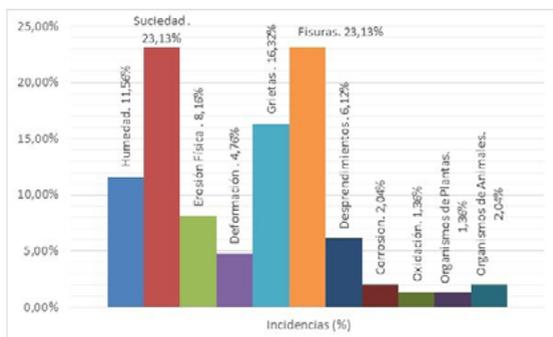


Figura 5: Incidencias por tipo de lesión

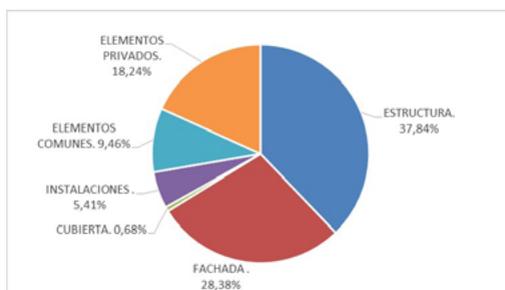


Figura 6: Incidencias de lesiones por elemento constructivo

De los resultados encontrados mostrados en las tablas anteriores se pudo concluir, que el elemento constructivo más afectado por sus distintas lesiones fue la estructura horizontal con el 16,89% y las lesiones con mayor presencia fue la suciedad y las fisuras con el 23,13%.

Niveles de deterioro por elemento constructivo de cada vivienda

Un punto importante dentro del análisis de lesiones fue también la definición del Estado de Conservación, el mismo que es representado por 4 niveles de daño (IV = Buen estado aparente, III = Lesiones Leves, II = Lesiones graves, I = Lesiones muy graves) reconoció como resultados a la cimentación y la red eléctrica con el mayor porcentaje en nivel IV (Buen estado aparente) con el 95% y en nivel III (Lesiones Leves) a la

cubierta con el 28%.

El análisis de deterioro de cada vivienda se lo realizó por elemento constructivo según las fichas de inspección, las mismas que están divididas en fichas correspondientes a la estructura, fachada, cubierta, instalaciones, elementos comunes y elementos privados.

Niveles de deterioro del inmueble IBI-13-03-01-000-000023

Según los datos obtenidos por las fichas de inspección, la vivienda con código INPC IBI-13-03-01-000-000023 obtuvo niveles de deterioro según sus elementos constructivos de 56,40% en estructura, 15,50% en fachada, 5,90% en cubierta, 5,52% en instalaciones, 0,99% en elementos comunes y 7,21% en elementos privados, (Figura 7) porcentajes que fueron obtenidos de la tabla ponderada según la metodología de Tejera – Álvarez (2012).

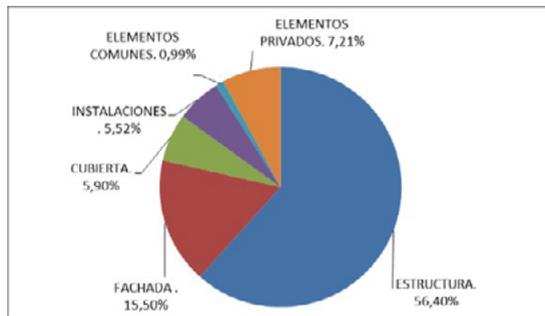


Figura 7: Niveles de deterioro por Elemento Constructivo

Niveles de deterioro del inmueble IBI-13-03-01-000-000004

Según los datos obtenidos por las fichas de inspección, la vivienda con código INPC IBI-13-03-01-000-000004 obtuvo niveles de deterioro según sus elementos constructivos de 56,19% en estructura, 8,22% en fachada, 0% en cubierta, 5,40% en instalaciones, 0,98% en elementos

comunes y 7,01% en elementos privados (Figura 8), porcentajes que fueron obtenidos de la tabla ponderada según la metodología de Tejera – Álvarez (2012).

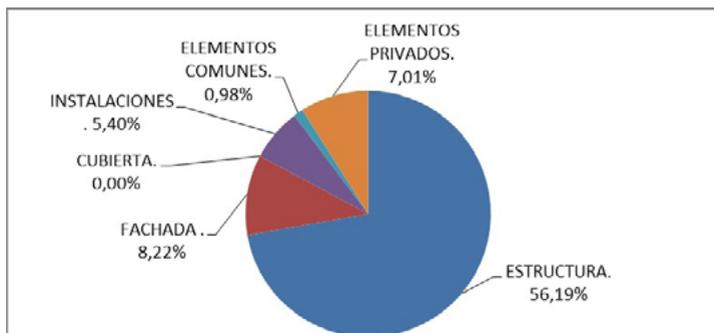


Figura 8: Niveles de deterioro por Elemento Constructivo

Niveles de deterioro del inmueble IBI-13-03-01-000-000017

Según los datos obtenidos por las fichas de inspección, la vivienda con código INPC IBI-13-03-01-000-000017 obtuvo niveles de deterioro según sus elementos constructivos de 48,65% en estructura, 13,41% en fachada, 6,80% en cubierta, 5,16% en instalaciones, 0,93% en elementos comunes y 3,95% en elementos privados (Figura 9), porcentajes que fueron obtenidos de la tabla ponderada según la metodología de Tejera – Álvarez (2012).

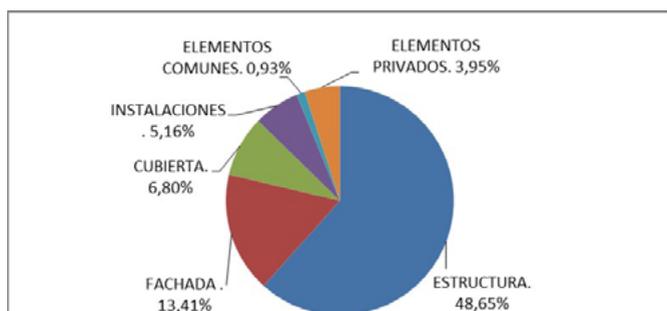


Figura 9: Niveles de deterioro por Elemento Constructivo

Niveles de deterioro del inmueble IBI-13-03-01-000-000020

Según los datos obtenidos por las fichas de inspección, la vivienda con código INPC IBI-13-03-01-000-000020 obtuvo niveles de deterioro según sus elementos constructivos de 56,87% en estructura, 13,17% en fachada, 0% en cubierta, 5,52% en instalaciones, 0,99% en elementos comunes y 7,34% en elementos privados (Figura 10), porcentajes que fueron obtenidos de la tabla ponderada según la metodología de Tejera – Álvarez (2012).

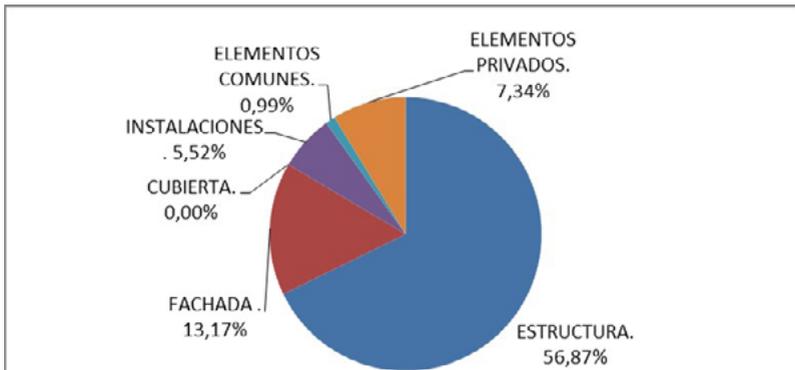


Figura 10: Niveles de deterioro por Elemento Constructivo

Resultados del Estado Técnico Constructivo

Con los datos procesados en las tablas ponderadas por cada inmueble de estudio se procedió a obtener la respectiva puntuación del Estado Técnico Constructivo (ETC), de esta manera con la Tabla 1 se logró medir resultados de puntuación con la que se obtuvieron valores, evidenciándose el deterioro de los inmuebles estudiados.

De los resultados encontrados se obtuvo que los inmuebles que presentan mayor deterioro según su ETC es la del inmueble con código del INPC IBI-13-03-01-000-000004 con el 77,78% y el inmueble IBI-13-03-01-000-000017 con 78,89% ambos con una clasificación del ETC “BUENO”, así también destacan la de menor deterioro con ETC “MUY

BUENO” los inmuebles IBI-13-03-01-000-000023 con 91,50% y IBI-13-03-01-000-000020 con 83,88%. (Tabla 2)

Código del INPC	Puntuación del ETC	Clasificación del ETC
IBI-13-03-01-000-000023	91,50%	MUY BUENO
IBI-13-03-01-000-000004	77,78%	BUENO
IBI-13-03-01-000-000017	78,89%	BUENO
IBI-13-03-01-000-000020	83,88%	MUY BUENO

Tabla 1: Puntuación y clasificación de los ETC

Código del INPC	Puntuación del ETC	Clasificación del ETC
IBI-13-03-01-000-000023	91,50%	MUY BUENO
IBI-13-03-01-000-000004	77,78%	BUENO
IBI-13-03-01-000-000017	78,89%	BUENO
IBI-13-03-01-000-000020	83,88%	MUY BUENO

Tabla 2: Puntuación y clasificación de los ETC

Cálculo del Indicador de Costo de Rehabilitación y Costo Total de Rehabilitación para los Bienes Inmuebles Patrimoniales del cantón Chone.

En el Ecuador el ICA (indicador de costo por área) depende de varios factores, siendo uno de los organismos con mayor validez y solvencia a nivel nacional en la aplicación de estos indicadores el BIESS (Banco Nacional del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social), por medio de sus productos aplicados al mercado inmueble, trabaja con valores por metro cuadrado en un rango de reconstrucción de vivienda entre \$220 - \$260, y para la construcción de viviendas sus valores se encuentran en el rango de \$360 - \$380 por metro cuadrado.

Para la obtención del ICA aplicables, se utilizó el valor de \$260 por metro cuadrado de reconstrucción por incremento el valor de factores que inciden directamente al valor de este Indicador. Con la Ecuación 1 se obtuvo los valores referentes al Costo de Rehabilitación para cada

inmueble, los mismos que alcanzaron los valores mostrados en la 3. Con estos datos y el área de construcción de cada inmueble se precedió a calcular el CTR (Costo Total de Rehabilitación), como lo indica la Ecuación 2.

Código del INPC	Área de Construcción	Puntuación del ETC	Costo de Rehabilitación	
			(ICR) \$/m ²	(CTR) Total
IBI-13-03-01-000-000023	361,9 m ²	91,50%	22,1	\$ 7.997,99
IBI-13-03-01-000-000004	438,98 m ²	77,78%	57,77	\$ 25.360,80
IBI-13-03-01-000-000017	260,18 m ²	78,89%	54,88	\$ 14.280,04
IBI-13-03-01-000-000020	363 m ²	83,88%	41,91	\$ 15.214,05
			TOTAL:	\$ 62.852,88

Tabla 3: Costo de Rehabilitación de los Inmuebles a partir de la puntuación del ETC

En un análisis más profundo se puede observar que el inmueble con Código INPC IBI-13-03-01-000-000004 obtuvo el mayor valor en cuanto al Indicador de costo de Rehabilitación con \$ 57,77 el metro cuadrado y un Costo de Rehabilitación de \$25.360,80. (Figura 11)

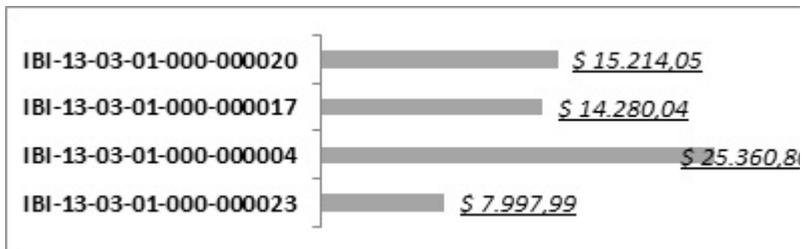


Figura 11: Costo de rehabilitación de cada Inmueble

Propuesta de Actuación Constructiva

La propuesta de Actuación Constructiva se estableció en función de los Estados Técnicos Constructivos de cada uno de los inmuebles estudiados, todo esto basado en la metodología expuesta por Tejera Álvarez (Tabla 4)

Código del INPC	Clasificación del ETC	Actuación Constructiva
IBI-13-03-01-000-000023	Muy Bueno	<i>Mantenimiento</i>
IBI-13-03-01-000-000004	Bueno	<i>Rehabilitación Ligera</i>
IBI-13-03-01-000-000017	Bueno	<i>Rehabilitación Ligera</i>
IBI-13-03-01-000-000020	Muy Bueno	<i>Mantenimiento</i>

Tabla 4: Resultados de la actuación constructiva de cada inmueble

En un análisis más detallado de los datos obtenidos en la tabla 3.38 se obtuvo lo siguiente: los inmuebles con código INPC IBI-13-03-01-000-000023 y IBI-13-03-01-000-000020 representadas en un 50% de los inmuebles estudiados, requieren de MANTENIMIENTO, refiriéndose así a la realización de trabajos periódicos sobre sus elementos constructivos. Los inmuebles con código INPC IBI-13-03-01-000-000004 y IBI-13-03-01-000-000017 representados también con el 50% de los inmuebles estudiados, requiere REHABILITACIÓN LIGERA, refiriéndose a trabajos de reparación parcial de los elementos constructivos acorde a los niveles de daños obtenidos.

De esta manera, un resumen del número de inmuebles estudiados con su respectiva actuación constructiva, obteniéndose un 50% en Mantenimiento y otro 50% en Rehabilitación Ligera. (Figura 12)

Es importante mencionar que en un análisis más detallado se obtuvo como respuesta el propósito de prevenir el deterioro y así precautelar los inmuebles patrimoniales del cantón Chone, que en los resultados encontrados acerca de las actuaciones constructivas para cada inmueble se debe tomar en cuenta los materiales predominantes de la zona de estudio, debido principalmente a que este aspecto es muy importante a la hora de realizar una rehabilitación como tal, convirtiendo a esta en el grado de dificultad en la sustitución total o parcial de sus elementos. Bajo este concepto los materiales predominantes en los inmuebles del cantón Chone fueron la madera y la caña, convirtiéndose en un aspecto de vital

importancia al momento de considerar los resultados de actuaciones constructivas obtenidos, debido a la facilidad que presentan este tipo de materiales en relación a los convencionales en la actualidad como ladrillos, bloque u hormigón armado en su rehabilitación, siendo así más fácil la sustitución o reemplazo de estos elementos logrando así en muchos casos la no renovación completa e innecesaria de los elementos constructivos.

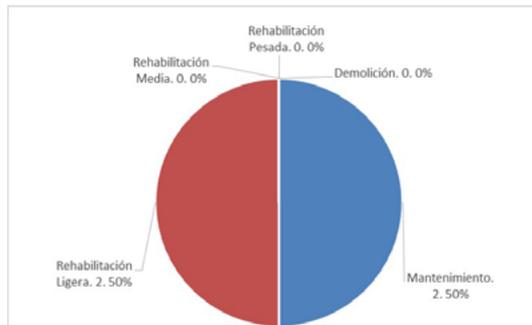


Figura 12: Actuación Constructiva

Conclusiones

1. El análisis de estudio por medio de las fichas de inspección realizadas a cada inmueble, determinó las patologías que estos presentaron, siendo así las fisuras representadas con el 23,13% del total de lesiones, las grietas con el 16,32% y la acumulación de suciedad con el 23,13% como las lesiones más comunes en los inmuebles estudiados, así mismo se presentaron otras lesiones en menor cantidad como la de presencia de humedades con el 11,56%, erosiones con el 8,16%, deformaciones el 4,76%, desprendimientos el 6,12%, corrosión el 2,04%, oxidación 1,36%, presencia de organismos de animales 2,04%, presencia de organismos de plantas 1,36%, lesiones que determinaron el deterioro de los inmuebles.

2. Las fichas de inspección determinaron a su vez las lesiones por elementos constructivo de los inmuebles estudiados, siendo la estructura

horizontal la más afectada con el 16,89% del total de lesiones encontradas, seguidas del cerramiento y voladizos (elementos singulares) con el 10,14% cada una y los elementos constructivos con menor número de lesiones fueron los acabados e impermeabilizaciones con el 0,68% y la red de electricidad con el 1,38%.

3. La valoración del Estado Técnico Constructivo (ETC) de cada inmueble representados dio como resultado una puntuación del 91,50% para el inmuebles IBI-13-03-01-000-000023, el 83,88% para el inmueble IBI-13-03-01-000-000020, ambos con una clasificación de MUY BUENO según su ETC, y con clasificación de BUENO el inmueble IBI-13-03-01-000-000004 con 77,78% y el inmueble IBI-13-03-01-000-000017 con el 78,89% de ETC, datos que representan los resultados a todos los inmuebles estudiados del cantón Chone.

4. La valoración económica realizada en base al deterioro que presentaron los inmuebles, estableció resultados que permitieron el cálculo de indicadores de costo de rehabilitación (ICR) en base al ETC de cada inmueble, indicadores que representan el costo de reconstrucción por metro cuadrado de cada inmueble estudiado, siendo así el inmueble IBI-13-03-01-000-000023 con ICR de \$22,1 (USD/m²), el inmueble IBI-13-03-01-000-000020 con ICR de \$41,91 (USD/m²), el inmueble IBI-13-03-01-000-000004 con ICR de \$57,77 (USD/m²) y el inmueble IBI-13-03-01-000-000017 con ICR \$54,88 (USD/m²), indicadores que permitieron a su vez el cálculo del costo total de rehabilitación de cada inmuebles, obteniendo resultados para la rehabilitación respectiva de cada inmueble cifras que van desde \$7.997,09 (USD) para el inmueble IBI-13-03-01-000-000023 con mejor ETC (91,50%) hasta los \$25,360.80 (USD) el inmueble IBI-13-03-01-000-000004 siendo el más deteriorado con ETC (77,78%), obteniendo un total de costo de rehabilitación para los cuatro inmuebles de \$62,852.88 (USD).

5. Al determinar el Estado Técnico Constructivo en base a las lesiones

identificadas de cada inmueble se establecieron actuaciones constructivas, siendo estas las actuaciones a considerar: “MANTENIMIENTO” para los inmuebles IBI-13-03-01-000-000023 y IBI-13-03-01-000-000020 refiriéndose así a la realización de trabajos periódicos sobre sus elementos constructivos y “REHABILITACIÓN LIGERA” para los inmuebles IBI-13-03-01-000-000004 y IBI-13-03-01-000-000017, refiriéndose a trabajos de reparación parcial de los elementos constructivos acorde a los niveles de daños obtenidos.

Bibliografía

- Banco del BIESS. (2016). Certificado. *Emitido por Pablo Caicedo Salto, Asesor de Créditos del BIESS*. Chone, Manabí.
- Domínguez Gutiérrez, J., González Pajaro, A. (2015). Valoración Técnica del deterioro de la edificaciones en la zona costera de Santa Fe. *Arquitectura y Urbanismo, XXXVI(1)*, 48-61.
- Domínguez, J., Murias, F., Hernández, D. (2011). Análisis del precio de construcción en obras escolares. Escuelas primarias. *Arquitectura y Urbanismo, XXXII(2)*, 53-59.
- Domínguez, J. (Febrero de 2015). Análisis Técnico - Económico del deterioro en Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles de la provincia de Manabí asociado al ambiente marino. *Formulario para la presentación del Proyectos de Investigación Científica "Semilla"*. Chone, Manabí, Ecuador.
- ICOMOS. (1976). Carta de Turismos Cultural. *Carta de Turismo Cultural*. Bruselas: UNESCO.
- López Morales, F. J., Vidargas, F. (2014). *Los nuevos paradigmas de la conservación del patrimonio cultural. 50 años de la Carta de Venecia*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Tejera, P., Álvarez, O. (2012). *Patología de la Construcción*. La Habana:

Editorial Universitaria "Félix Varela".

Throsby, D. (2007). El Patrimonio y la Economía: algunos conceptos de base. *IX Congreso Mundial de la Organización de las Ciudades Patrimonio Mundial*. Kazan: The Getty Conservation Institute.

UNESCO. (2017). *Textos Fundamentales de la Convención para la salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial del 2003*. Paris: UNESCO.

ANÁLISIS TÉCNICO DEL DETERIORO DE LOS BIENES PATRIMONIALES-INMUEBLES DEL CANTÓN MONTECRISTI COMO CONSECUENCIA DEL 16A

Jacqueline Domínguez Gutiérrez

Arquitecta, Investigador Auxiliar 2. Doctora en Ciencias Técnicas. Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” (ULEAM), Ecuador, Docente. Avenida Circunvalación - Vía a San Mateo, Teléfono: 0980056468, Correo: jarqui888@gmail.com

María José Salas Giler

Ingeniera Civil, ULEAM – Extensión Chone,
Correo: majigiler@hotmail.com

Resumen

Las acciones para la preservación del Patrimonio Cultural es una necesidad que obliga a emprender políticas de salvaguardia basadas en conservar el legado heredado, por esta razón en los bienes inmuebles es importante considerar las diversas amenazas a las que son expuestos, como es el caso de la localización en que se encuentran, el deterioro por el tiempo, los agentes ambientales, o la vulnerabilidad a desastres naturales. De esta manera, nace el objetivo de proponer acciones para la preservación del patrimonio a partir de la valoración técnico-económica del deterioro de las fachadas de los Bienes Patrimoniales Inmuebles del cantón Montecristi, en la que se tomó una muestra de 13 fachadas pertenecientes a 9 viviendas inventariadas patrimoniales descritas así por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultura (INPC), con las que se profundizó mediante una primera evaluación del deterioro por el tiempo y otra segunda evaluación comparativa del antes y después de los efectos

creados por el terremoto del 16/04/2016 aplicado a las fachadas, un análisis completo de todos sus elementos (Cerramientos, Revestimientos, Carpintería, Voladizos y Elementos Singulares). El análisis se originó con el estudio patológico de las fachadas, permitiendo obtener las lesiones detectadas en cada elemento y su respectivo estado técnico constructivo, y de esta manera profundizar sobre la evolución de sus daños y crear el camino para obtener un análisis técnico-económico basado en el costo de su rehabilitación, así como también el tipo de actuación constructiva más idóneo a aplicar para cada vivienda conformada por su respectiva fachada.

Palabras clave: Estudio patológico, Bienes Patrimoniales Inmuebles, Análisis Técnico-Económico, Sismo.

TECHNICAL ANALYSIS OF THE DETERIORATION OF BUILDINGS WITH HERITAGE VALUE OF THE MONTECRISTI CANTON AS A CONSEQUENCE OF 16A

Abstract:

The actions for the preservation of the Cultural Heritage is a necessity that forces to undertake safeguard policies based on preserving the legacy inherited, for this reason in the real estate it is important to consider the diverse threats to which they are exposed, as it is the case of the location in which they are found, deterioration through time, environmental agents, or vulnerability to natural disasters. In this way, the objective of proposing actions for the preservation of heritage was born from the technical-economic assessment of the deterioration of the facades of the buildings with heritage value of the Montecristi canton, in which a sample of 13 facades belonging to 9 patrimonial inventoried houses described thus by the National Institute of Cultural Patrimony (INPC), with which deepened by means of a first evaluation of the deterioration

by the time and another second comparative evaluation of before and after the effects created by the earthquake of the 16 / 04/2016 applied to the facades, a complete analysis of all its elements (Enclosures, Coatings, Carpentry, Cantilevers and Singular Elements). The analysis originated with the pathological study of the facades, allowing to obtain the injuries detected in each element and its respective technical constructive state, and in this way to deepen on the evolution of its damages and create the way to obtain a technical-economic analysis based in the cost of its rehabilitation, as well as the most suitable type of constructive action to be applied for each house made up of its respective facade

Keywords: Pathological study, Real estate assets, Technical-Economic analysis, Earthquake

Introducción

A partir del siglo XX y hasta el presente ha sido creciente el interés por la Conservación y Rehabilitación del fondo edificado de las ciudades. La preocupación por encontrar los materiales y métodos para revertir los estados de deterioro, el estudio sistemático de las patologías de la construcción, la identidad y educación cultural de las sociedades sobre la salvaguarda del patrimonio, han sido temas desarrollados por innumerables especialistas y entidades.

La Rehabilitación de un inmueble implica rescatarlo físicamente, devolverle su vida útil a través de diversas actuaciones sobre los elementos que presentan signos de deterioro o han perdido su función constructiva. Para llevar a cabo con éxito las propuestas de actuación, es necesario realizar el análisis patológico del inmueble, determinando las lesiones y sus posibles causas, para llegar a soluciones acertadas y efectivas que mantengan la edificación en buen estado de conservación.

La ocurrencia del pasado terremoto del 16 de abril tuvo nefasta consecuencia en el patrimonio edificado al ser considerable el número

de inmuebles patrimoniales que sufrieron daños irreversibles. A partir de esta problemática se plantea la siguiente hipótesis: “El estudio de los niveles de deterioro a partir del estudio de las edificaciones antes y después del terremoto del 16 de abril del 2016 y su incidencia en el estado técnico de los Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles del cantón Montecristi de la provincia de Manabí permiten una definición más precisa del impacto del desastre en los inmuebles”.

Como Objetivo General se plantea: “Analizar el deterioro de los Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles del cantón Montecristi de la provincia de Manabí antes y después del terremoto del 16 de abril del 2016 a partir de criterios técnicos”.

La presente investigación realiza el estudio patológico de las edificaciones en función de los niveles de deterioro que estas tuvieron, determinándose una propuesta de actuación constructiva. Esta propuesta se realiza a partir de las fichas de registro e inventario de los Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles en la cual se hace la selección de las viviendas del cantón Montecristi de la provincia de Manabí.

Desarrollo

Se define al Patrimonio como el resultado del legado propio de un pueblo expresado no solamente en bienes materiales sino también tradiciones o expresiones vivas heredadas de nuestros antepasados y transmitidas a nuestros descendientes, ya sean tradiciones orales, actos festivos, saberes y técnicas vinculadas a la artesanía tradicional, entre otras. Lo que hace que se convierta en un legado que recibido de las generaciones pasadas nos obliga moralmente a preservarlo para nuestros hijos (López y Vidargas, 2014), por ello se debe tener en cuenta su historia y la posibilidad que esta constituye de vincularnos al pasado y así enorgullecerse de lo propio heredado, expresándose por medio de textos internacionales su conservación, reparación y protección para

garantizar así su riqueza incalculable e identidad que nos define.

Las primeras actividades y acciones referentes al patrimonio se dieron con La Carta de Atenas de 1931, la misma que tuvo como finalidad las primeras gestiones para el resguardo del patrimonio y así afirmarlo como una realidad de constante evolución, con la que nacen las cooperaciones internacionales con creaciones de entidades internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) incluyendo varios estados miembros, y con ello el camino para la celebración de muchas otras cartas culturales, convenios, declaraciones, recomendaciones, principios, memorandos bilaterales, entre otros, en pro del patrimonio.

La identidad nacional se ha ido conformando a partir del legado histórico heredado por quienes habitaron el territorio del actual Ecuador, desde hace más de diez mil años. Diversas sociedades dieron forma a la tierra y a las piedras, cultivaron, crearon, recrearon (De Vuyst, 2013). Por lo que representar todas estas memorias de identidad se convierte en la expresión más pura del patrimonio, creando así ese legado, esa herencia cultural, material, natural, espiritual, simbólica que una generación recibe de sus ancestros a fin de que se continúe en ella y se construyan referentes de sentido e identidad para que pueda seguir tejiendo la vida. Siendo en el país la primera muestra de conservación y resguardo del patrimonio cultural las denominadas Normas de Quito creadas en 1967, construyendo así un origen y base para conservar en años siguientes patrimonios de la humanidad invaluable y únicos.

Sin embargo, el patrimonio cultural material e inmaterial ecuatoriano no solamente se encuentra representado por la lista de patrimonios reconocidos por la UNESCO, sino que también se cuenta con muchos otros bienes tangibles e intangibles que son resguardados a nivel nacional por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), el mismo que tuvo sus comienzos el 29 de junio de 1978 adscrito por la Casa de la

Cultura Ecuatoriana mediante decreto ejecutivo 2600 publicado por el registro oficial N° 618.

Los bienes inmuebles están constituidos por obras o producciones humanas, que no pueden ser trasladadas de un lugar a otro y que encierran características y valores particulares a través de los cuales es posible interpretar las formas de pensar, de ser y de hacer de las sociedades a lo largo del tiempo (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2011). De aquí, que su valoración va mucho más allá de lo material, puesto que no cabe duda de que al conocer un bien inmueble, se explora en la memoria del pasado para poder entender la identidad propia adquirida con el tiempo que se caracteriza por el lugar donde se encuentra, siendo también componentes esenciales de la imagen urbana de los catalogados centros históricos; en otras palabras, el patrimonio construido es en sí la esencia de la existencia de estos. (Díaz, 2012)

Bajo este pensar, las acciones para la preservación del patrimonio de los bienes inmuebles llevan a que se requiera de un estudio claro, preciso y transparente sobre todo en las características y estado de conservación actual que presentan, siendo la utilización de instrumentos que al final permita garantizar la mejor relación entre Patrimonio - Turismo y Patrimonio - Medio Ambiente, que son enfoques preponderantes hoy en día y sin los cuales no se puede anhelar una conservación del patrimonio cultural. Los métodos de intervención técnicos, administrativos y financieros deben garantizar e integrar cada uno de los factores que se generan y así ayudar a la conservación y protección de los bienes inmuebles patrimoniales, de aquí que es necesario resguardar y mejorar sus condiciones propias y del entorno, proporcionándole cuidados que ayuden a no producir patologías estructurales o algún otro tipo de daño irremediable, por lo cual, su mantenimiento y rehabilitación es importante.

Según lo menciona Cabrera y Plaza (2014): El diagnóstico de las patologías de una edificación es la parte de la ingeniería que estudia los

síntomas, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles. Por ello, el diagnosticar surge como la respuesta al abordar un problema constructivo, generando en una primera instancia un análisis de causas, para posteriormente tomar decisiones e intervenir así en la estructura afectada, permitiendo dar el paso a acciones posteriores como mejoras bajo el cual se garantiza la devolución de la vida útil de la estructura, evitar reprocesos y sobrecostos, y así la aparición de nuevas patologías. Considerando que en la ingeniería para atacar un problema constructivo es necesario "diagnosticarlo", es decir, conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual, y adquirir los datos de forma inversa, es decir, según el estudio patológico (Chávez-Hernández et al., 2012). Convierte al diagnóstico en el resultado del trabajo conjunto de estos dos puntos claves: proceso y estudio, originando así con una noción real de las circunstancias, las causas, el origen, y más interrogantes que se crean con su estudio.

El Ecuador se encuentra situado en una de las zonas de más alta complejidad tectónica del mundo, en el punto de encuentro de las placas de Nazca y Sudamérica. Es parte del denominado "cinturón de fuego del Pacífico", con una larga serie de volcanes en su mayoría activos que provoca una permanente actividad sísmica y volcánica y determinan una elevada vulnerabilidad (FAO, 2014). Bajo este contexto, se convierte en importante contar con conocimientos en medidas preventivas en relación del grado de sismicidad que se puede presentar en cualquiera de las cuatro diferentes regiones del país, y así también contar con el posterior plan de mitigación de efectos o post-sismicidad, en base a cálculos elaborados bajo estrictos códigos de construcción nacional e internacional como las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC).

El Ecuador es un país con una rica herencia histórica. Parte de esa herencia constituyen los bienes inmuebles patrimoniales a lo largo de su territorio (Díaz, 2012), es por eso que la importancia de medidas

preventivas, orientadas a crear un grado de mantenimiento, preservación y cuidado de los diferentes bienes inmuebles patrimoniales, garantiza la delimitación de los problemas originados por varios factores, en especial ante amenazas de peligro sísmico. Por consiguiente, el estado de conservación en estos casos va representado por el grado de daños que han logrado soportar los inmuebles patrimoniales, sin embargo, esto no solo queda ahí, sino que también se hace necesario, realizar un diagnóstico basado en la identificación, valoración y priorización de los riesgos, mediante el uso de la información existente en registros históricos, estadística, mapas temáticos generados por las instituciones oficiales del Estado Ecuatoriano, de aquí que surgen los planes de manejo de riesgos.

El cantón Montecristi está ubicado al sur oriente de la provincia de Manabí, en las faldas del cerro Montecristi y muy cerca del imponente océano Pacífico encontrándose a aproximadamente 26 km del mar, es un asentamiento urbano que limita al norte con el cantón Manta y Jaramijó, al oeste con el cantón Manta y el océano Pacífico, al sur con el océano Pacífico y el cantón Jipijapa, y al este con el cantón Portoviejo. Es considerado como una de las ciudades y poblados históricos patrimoniales, por lo que en él se evidencia la gran riqueza y diversidad de patrimonio cultural y natural, material e inmaterial, existente (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2014). Encontrándose así en Montecristi 136 patrimonios reconocidos por el INPC, de los cuales 30 son documentales, 33 de carácter inmaterial, 54 muebles y 19 inmuebles.

Montecristi es también distinguida como la capital artesanal del Ecuador, siendo el sombrero de Paja Toquilla la herencia histórica más representativa, llegando a reconocerse su tejido Patrimonio Inmaterial de la Humanidad por la UNESCO.

Metodología

Se realizó el Estudio Analítico Transversal del cantón Montecristi

de la Provincia de Manabí el cual sufrió el impacto del sismo del 16 de abril de 2016 a partir del estudio de las viviendas inventariadas como Bienes Patrimoniales – Bienes Inmuebles por el INPC en su Sistema de Información para la Gestión de Patrimonio Cultural (INPC, 2011). A partir del diagnóstico patológico de dichos bienes patrimoniales, antes (1 meses) y después (2 mes) del sismo se pudo determinar los niveles de deterioro en los inmuebles.

El Sistema de Información para la Gestión del Patrimonio Cultural muestra un total de 8 652 Bienes patrimoniales – Bienes Inmuebles inventariados (282 en Manabí) y 13 389 registrados (86 en Manabí).

Por las razones expuestas, la selección de la muestra se realizó de manera no probabilística y estuvo conformada por 9 viviendas (conformadas por 13 fachadas) que se encuentran inventariadas como Bienes Patrimoniales Inmuebles por el INPC, las cuales se localizan en el cantón Montecristi de la Provincia de Manabí (Figura 3). Bienes inmuebles todos que sufrieron directamente el impacto del sismo, por lo que puede advertirse una marcada incidencia del desastre en los bienes patrimoniales. (Figura 1)



Figura 1: Bienes Patrimoniales Inmuebles (Viviendas). Cantón Montecristi. Provincia Manabí

Todas las edificaciones fueron inspeccionadas en marzo del 2016 y vueltas a inspeccionar 2 meses después luego del sismo del 16 de abril

del 2016. Inspecciones todas en las cuales se utilizó como herramienta, la Ficha de Inspección Detallada para obtener las principales lesiones y los niveles de daños.

Se analizaron las lesiones observadas en las edificaciones, para ello se emplearon fichas de inspección para la recogida de datos basado en la metodología establecida por Tejera y Álvarez (2012). Dicha metodología contempla 22 elementos que componen las edificaciones, divididos en 6 partes entre las que se cuentan: Estructura, Fachadas, Cubiertas, Instalaciones, Elementos Comunes y Elementos privados. Cada componente del edificio se observó independiente del todo y a su vez a cada una de las partes le corresponde una ficha de Inspección particular. La Ficha de Inspección Detallada permitió recoger toda la información referente a los inmuebles: sus características, modificaciones del estado original, síntomas a observar en busca de las lesiones y finalmente permitió definir un estado de conservación en función de los niveles de daños detectados.

Para la búsqueda de información se tuvieron en cuenta los siguientes métodos: recopilación de datos; observación; información oral; deducción de la causa del efecto a partir de comparar síntomas con comportamiento de los materiales / Valoración de los agentes causales y uso de fichas de inspección detallada.

A partir de la metodología de Tejera y Álvarez y con los resultados de las inspecciones realizadas se pudo determinar la propuesta de actuación constructiva más conveniente para cada edificación en función de sus características propias.

Resultados y discusión

Resultado de análisis patológico de las fachadas de las viviendas patrimoniales del cantón Montecristi

A partir del uso de la Metodología de Tejera y Álvarez se pudo determinar

por cada elemento constructivo sus características y materiales, así como sus modificaciones en una descripción constructiva, llegando luego a una evaluación de síntomas observables en los que se evaluó las lesiones y su respectiva localización. De esta manera, se obtuvieron los niveles de daño con su referido porcentaje de afectación por cada elemento, repartidos en 4 niveles (IV: Buen Estado, III: Leve, II: Grave y I: Muy Grave) que sumados dieron el 100%.

En un estudio más exhaustivo, los elementos constructivos de Cerramientos presentaron como su característica más predominante la presencia de paredes de caña guadua chancada (picada) y cimentación en columnas de horcones de madera en un 85% de un total 13 fachadas de estudio. Mientras que en los Revestimientos las características que destacan son los recubrimientos con hojas de zinc presentes en un 50% entre las 13 fachadas estudiadas, es importante indicar que la vivienda IBI-13-09-50-000-000008 en sus dos fachadas presenta un revestimiento de adobe (estércol + paja) con pintura a la cal en su tabiquería exterior en la planta baja, bajo este motivo se hace importante mencionar que dicho inmueble conserva sus materiales originales y por ende es la muestra de patrimonio más pura sin alteración, sin embargo, debido a su abandono su Estado Técnico Constructivo es agravante, de aquí la importancia de su rehabilitación y posterior cuidado.

En los Voladizos y Elementos Singulares destacan los enmarcamientos presentes en puertas y ventanas, observándose así su expresión más notable en la fachada de la vivienda IBI-13-09-50-000-000002, los ornamentos y molduras también son otra característica a considerar presentes en un 50% de las 13 fachadas estudiadas. Sin embargo, los elementos constructivos de la Carpintería que desempeñan un rol preponderante destacan en todas las fachadas, debidos principalmente a que este elemento fue un material propio de la época constructiva, perteneciente a las viviendas patrimoniales.

El llenado de fichas de inspección permitió descubrir las diferentes lesiones y su grado de incidencia por elemento constructivo, información a partir de la cual se obtuvo el resumen de lesiones por elemento constructivo con su respectivo porcentaje.

El resumen de incidencias de lesiones perteneciente a la primera evaluación dio como resultado 390 lesiones, encontrándose las Suciedades como las de mayor presencia con un 13.33% y las de menor presencia las Grietas con un 3.33% (Figura 2) del total de casos encontrados. Sin embargo, en relación a la segunda evaluación con 357 casos de los cuales se evidencia también la Suciedad como lesión de mayor presencia con un 13.45% y las de menor número las lesiones por Organismos de Plantas con un 3.36% (Figura 3), se adquirió una diferencia de 33 casos creados principalmente por la depreciación de la vivienda con código IBI-13-09-50-000-000012 la misma que producto del terremoto del 16/04/2016 presentó daños considerables y fue demolida completamente.

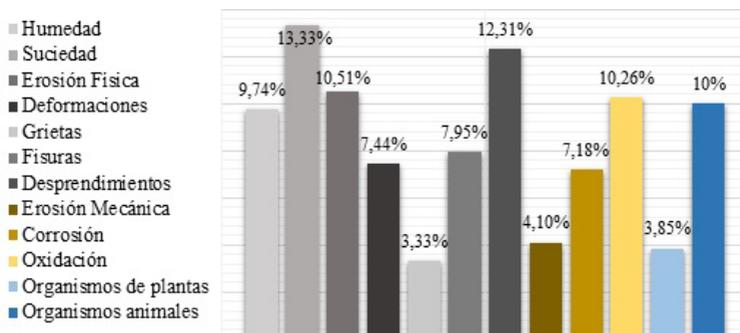


Figura 2: Porcentaje de lesiones pertenecientes a la primera evaluación técnica

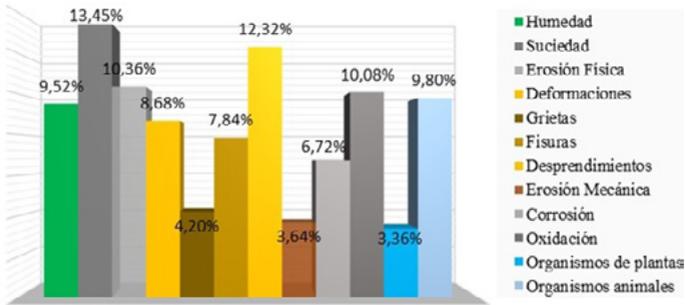


Figura 3: Porcentaje de lesiones pertenecientes a la segunda evaluación técnica

De los resultados encontrados se pudo obtener la conclusión, que los efectos generados por el deterioro del tiempo y ocasionados por las acciones del pasado terremoto del 16 abril llevaron al crecimiento de lesiones como Grietas en un 0.87% y en las Deformaciones en 1.25%, reflejándose así en las fachadas de las viviendas patrimoniales estudiadas.

Asimismo, se logró evaluar los elementos constructivos cuyos valores obtenidos de la primera evaluación mostraron que los Revestimientos con un 28.97% son los que mayor número de lesiones presentan, seguidos de los Cerramientos, luego los Voladizo y Elementos Singulares para acabar en los de menos presencia de lesiones que fueron los elementos de Carpintería con un 22.05% en relación a los 390 casos encontrados pertenecientes a esta evaluación (Figura 4).

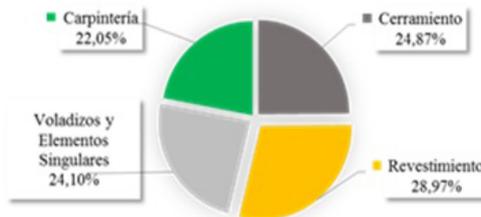


Figura 4: Presencia de lesiones en porcentajes por elemento constructivo perteneciente a la primera evaluación técnica

De los valores de la segunda evaluación se obtuvo el mayor número de lesiones en los Revestimientos con un 29.13%, seguidos de los Cerramiento, luego los Voladizos y Elementos Singulares, culminando en los de Carpintería con un 22.69% como los de menor número, de un total de 357 lesiones encontradas en los cuatro elementos constructivos (Figura 5).

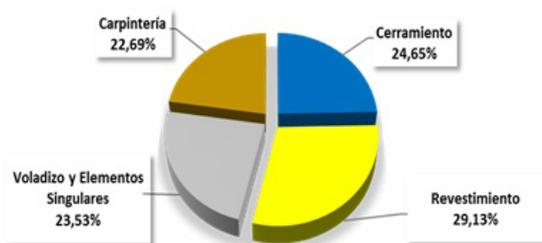


Figura 5: Presencia de lesiones en porcentajes por elemento constructivo perteneciente a la segunda evaluación técnica post-terremoto del 16/04/2016

Estos resultados permitieron determinar en que el orden de afectación entre ambas evaluaciones es el mismo, destacándose un incremento en el número de lesiones pertenecientes a los Revestimientos en un 0.16% y en un 0.64% a los de Carpintería, concluyendo así que el crecimiento en lesiones de Grietas y Deformaciones en las fachadas que se muestran, aumentaron en mayor número en ambos elementos constructivos.

Un punto importante dentro del análisis de lesiones fue también la definición del Estado Conservación, el mismo que representado en 4 niveles de daño (IV: Buen Estado, III: Leve, II: Grave y I: Muy Grave), reconoció como resultados de la primera evaluación al mayor porcentaje en los Cerramientos con un 42% en Buen Estado (Nivel IV), en los Revestimientos en el Nivel III y II con un 30%, en los Voladizos y Elementos Singulares en el Nivel III con un 22% y por último en la Carpintería en Nivel II con

un 30% al ser en esta evaluación el elemento constructivo de mayor afectación la Carpintería con un 15% en Nivel I.

De la segunda evaluación se obtuvo que en los Cerramientos el mayor porcentaje se localizó en el Nivel IV (40%), en los Revestimiento en el Nivel III (30%), en los Voladizos y Elementos Singulares en el Nivel III y II (20%), y en Carpintería en Nivel II (30%) como se lo muestra en la Tabla 3.7. Obteniendo también como conclusión que entre los elementos constructivos con mayor número se encontraron los Voladizos y Elementos Singulares seguidos de la Carpintería ambos con un 10% en Nivel I.

Como resultado de ambas evaluaciones se concluyó que los elementos de Carpintería son los más afectados debido a su mayor porcentaje en Nivel I en comparación al resto de elementos, también se logró evidenciar una disminución del porcentaje en los diferentes niveles por la ausencia de una muestra de estudio como resultado de los efectos del terremoto del 16/04/2016, siendo los elementos de Cerramiento los que evidenciaron disminución en sus tres niveles de daño, creando también un incremento de porcentaje en el Nivel II de dicho elemento, lo que demostró que el deterioro y el crecimiento de lesiones leves en los Cerramientos de la segunda evaluación.

Resultados del Estado Técnico Constructivo para cada evaluación y su respectiva diferencia

Con los datos procesados en las tablas ponderadas por cada fachada de estudio se procedió a obtener la respectiva puntuación del Estado Técnico Constructivo (ETC) para las dos evaluaciones realizadas, de esta manera se logró medir ambos resultados mediante una diferencia de puntuación, con la que se obtuvo la comparación constructiva entre ambos valores, evidenciándose en todos los casos un deterioro como resultado de causas por el tiempo, agentes agresivos ambientales o del pasado terremoto del 16/04/2016, concluyendo así en 11 fachadas que

mantuvieron su comportamiento y 2 que se agravaron.

De los resultados encontrados de la primera evaluación se obtuvo que entre las fachadas que presentan mayor deterioro están con un 30.80% la perteneciente a la vivienda con código IBI-13-09-50-000-000002 y con un 36.11% la del inmueble IBI-13-09-50-000-000012 logrando obtener ambas una clasificación de Mal Estado Técnico Constructivo, sin embargo, también están las de menor deterioro entre las que destacan con un 96.36% la fachada secundaria del inmueble IBI-13-09-50-000-000009, seguida de un 95.12% perteneciente al inmueble IBI-13-09-50-000-000010 ambas en Muy Buen Estado Técnico Constructivo.

No obstante, en la segunda evaluación se observan disminuciones en todas las puntuaciones constructivas de las fachadas de estudio, destacándose la vivienda IBI-13-09-50-000-000012 que fue demolida por presentar severos daños en su infraestructura, a esta le sigue con un Mal ETC representado por un 29.51% la fachada perteneciente al inmueble IBI-13-09-50-000-000012. En esta evaluación se obtuvo que las fachadas con mejor puntuación constructiva fueron las mismas de la primera evaluación.

Concluyendo que los resultados encontrados de ambas evaluaciones en las fachadas de las viviendas patrimoniales con mejor y peor puntuación en su ETC son las mismas, además se obtuvo que la fachada que presentó menor diferencia como resultado de ambas puntuaciones fue la perteneciente a la vivienda con código IBI-13-09-50-000-000005 con un -0.06%, observándose daños muy leves como resultado de un periodo evaluativo a otro.

Comparación de niveles de daño en las dos evaluaciones realizadas

Según los resultados evidencian mayor deterioro en la segunda evaluación, sin embargo, dichos valores en la mayoría de fachadas bajo estudio no altera su comportamiento constructivo, no obstante, existen

dos casos en los que sí cambia. Siendo así la vivienda con código IBI-13-09-50-000-000008 en su fachada principal (N°1) que pasa de Regular a Mal, y la vivienda IBI-13-09-50-000-000012 que por efectos del pasado terremoto del 16/04/2016 pasa de Mal a Inservible, adquiriendo un comportamiento constructivo agravante.

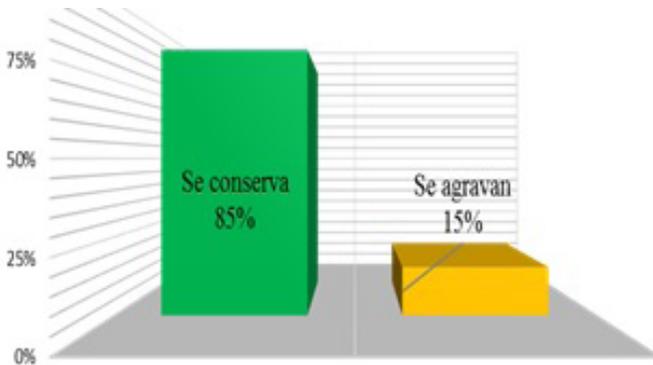


Figura 6: Porcentaje del ETC entre las 2 evaluaciones realizadas

Convirtiendo estos resultados a un total de 11 fachadas en un 85% que mantuvieron su clasificación de ETC, siendo así las 2 fachadas restantes representadas por un 15% el resultado de los cambios ocurridos en su comportamiento constructivo (Figura 6).

En un análisis más detallado conservaron su clasificación en Muy Buen Estado Técnico Constructivo 23% de las fachadas, en Buen estado 31%, en Regular 15% y en Mal 15%, por lo que un total de 11 fachadas mantuvieron su comportamiento constructivo, evidenciándose cambios en la segunda evaluación donde un 8% del ETC de la primera evaluación cambia de Regular a Mal y así un 8% de Mal ETC cambia a Inservible, con lo que se agravan en su comportamiento constructivo producto del resultado a lo largo de las dos evaluaciones realizadas.

Siendo el comportamiento constructivo el resultado de la diferencia

entre las puntuaciones de ambas evaluaciones realizadas, se hizo importante considerar que todas las viviendas patrimoniales sufrieron deterioro, pero en la mayoría de los casos mantuvieron su clasificación obteniendo así porcentajes con rangos muy mínimos unos con los otros, sin embargo, es evidente la diferencia en puntuación del -36.11% que obtuvo la vivienda con código del INPC IBI-13-09-50-000-000012, la misma que al sufrir daños por el pasado terremoto del 16/04/2016 logró un cambio en su comportamiento, concluyendo que el efecto del mismo creó una diferencia de casi 34% en relación al valor de deterioro presentado por la vivienda que le antecede (Figura 7).

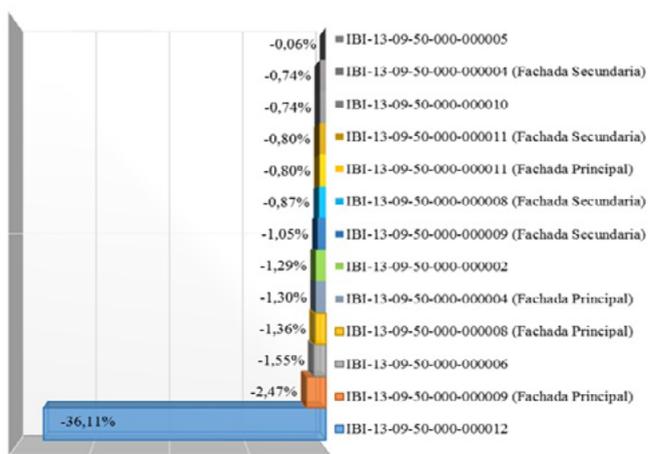


Figura 7: Diferencia de puntuaciones del ETC obtenidas de las dos evaluaciones realizadas

Propuesta de actuación constructiva

La propuesta de actuación constructiva nació en función de los Estados Técnicos Constructivos encontrados por cada una de las fachadas pertenecientes a las viviendas evaluadas, todo esto basado en la metodología

expuesta por Tejera y Álvarez. Para este caso se tomaron los valores de la última evaluación realizada, es decir, la Evaluación Comparativa Pre y Post terremoto del 16/04/2016 en bienes inmuebles patrimoniales del cantón Montecristi.

De esta manera, se representa en resumen el número de fachadas correspondiente a cada actuación constructiva, obteniéndose mayor requerimiento de actuación constructiva en un 31% en Rehabilitación Ligera, seguido de un 23% que requieren Mantenimiento y Rehabilitación Pesada, luego de un 15% que necesita Rehabilitación Media y por último un 8% que requirió Demolición (Figura 8).

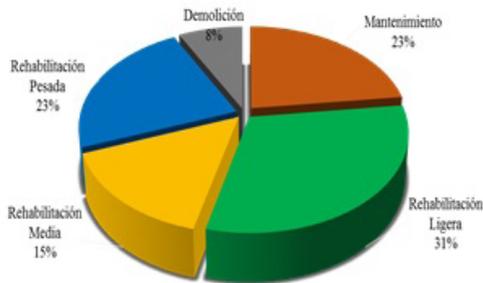


Figura 8: Propuesta de la actuación constructiva perteneciente a las fachadas patrimoniales

Conclusiones

1. El resumen de incidencias de lesiones dio como resultado en la primera evaluación 390 casos y 357 casos en la segunda evaluación, obteniendo una diferencia de 33 casos debido a la depreciación de la vivienda inventariada código IBI-13-09-50-000-000012 la misma que producto del terremoto del 16/04/2016 presentó daños considerables y fue demolida completamente, también se obtuvo que las lesiones por Suciedades son las de mayor presencia con un 13.33% en la primera evaluación y 13.45% de la segunda en las fachadas de las viviendas

inventariadas.

2. Los efectos generados por el deterioro del tiempo y ocasionados por las acciones del pasado terremoto del 16 abril llevaron al crecimiento de lesiones como Grietas en un 0.87% y en las Deformaciones en 1.25%, reflejándose así en las fachadas de las viviendas patrimoniales estudiadas.

3. Los elementos constructivos de Revestimientos fueron los de mayor presencia en lesiones por lo que presentaron un 28.97% en la primera evaluación y un 29.13% en la segunda evaluación, seguidos de los elementos de Cerramientos, Voladizos y Elementos Singulares, culminando en la Carpintería con un 22.05% para la primera evaluación y 22.69% de la segunda evaluación, por lo que en ambas evaluaciones se evidenció el mismo orden en porcentajes de lesiones. Asimismo se obtuvo un incremento de lesiones en los elementos de Revestimientos en un 0.16% y en un 0.64% en los de Carpintería, atribuyendo así el crecimiento en lesiones de Grietas y Deformaciones que se encontraron a ambos elementos constructivos.

4. De las dos evaluaciones realizadas se obtuvo que un 85% de las fachadas mantuvieron su clasificación de ETC, y un 15% se agravaron en su comportamiento constructivo, considerando también que todas las fachadas sufrieron deterioro destacándose la diferencia de puntuación del -36.11% que obtuvo la vivienda con código del INPC IBI-13-09-50-000-000012 al sufrir daños por el pasado terremoto del 16/04/2016.

5. De los resultados en las actuaciones constructivas pertenecientes a las fachadas un 31% necesitan de Rehabilitación Ligera, seguida de un 23% que necesitan Mantenimiento y Rehabilitación Pesada, luego de un 15% que requieren de Rehabilitación Media y por último un 8% que requirió Demolición.

Bibliografía

- Cabrera, T., Plaza, R. (2014). *Propuesta de rehabilitación estructural constructiva para la vivienda de la familia Plaza Aveldaño*. Tesis, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
- Chávez-Hernández, J. A., Recarey, C. A., García-Lorenzo, M. M., y López-Jiménez, O. (2012). *Utilización de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico patológico de edificaciones de valor patrimonial*. Informes de Construcción, LXIV (527), 297-305.
- De Vuyst, P. (2013). Hacia una gestión local sustentable del patrimonio cultural en Ecuador. *PATRIMONIUM*, IV (4).
- Díaz, J. (2012). *Propuesta para la restauración y mantenimiento del patrimonio cultural inmobiliario a través de la participación de las PYMES: Estudio de un emprendimiento productivo en Ambato*. Tesis de Maestría en Economía, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador, Ambato.
- FAO. (2014). En tierra segura: ECUADOR. Directorio Institucional: Gobierno de la República del Ecuador, Unidad de Tenencias y Manejo de las tierras. Recuperado el 30 de agosto de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/013/i1255b/i1255b02.pdf>
- INPC. (2011). *Instructivo para fichas de registro e inventario Bienes Inmuebles*. Quito, Ecuador: Ediecuatorial.
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2011). *ABACO: Sistema de Información para la Gestión del Patrimonio Cultural*. Recuperado de <http://www.inpc.gob.ec/component/content/article/15-publicaciones/57-manual-abaco>
- López, F., Vidargas, F. (2014). *Los nuevos paradigmas de la conservación del patrimonio cultural. 50 Años de la Carta de Venecia* (Primera ed.). México D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (2014). *Proyecto Emblemático Ciudades*

Patrimoniales del Ecuador. Quito. Recuperado de <http://contenidos.culturaypatrimonio.gob.ec/wp-content/uploads/2015/ciudades-patrimoniales.pdf>

Tejera, P y Álvarez, O. (2012). *Patología de las construcciones*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL DETERIORO DE LOS BIENES PATRIMONIALES INMUEBLES DE MANABÍ COMO CONSECUENCIA DEL 16A

Jacqueline Domínguez Gutiérrez

Arquitecta, Investigador Auxiliar 2. Doctora en Ciencias Técnicas. Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” (ULEAM), Ecuador, Docente. Avenida Circunvalación - Vía a San Mateo, Teléfono: 0980056468, Correo: jarqui888@gmail.com

Resumen

La conservación y recuperación del fondo edificado de las ciudades es un camino a transitar, dirigido a recuperar la memoria y garantizar la herencia cultural de las generaciones futuras. La rehabilitación es una necesidad de toda edificación en el transcurso de su vida útil, que obliga a realizar una serie de actuaciones sobre los principales elementos constructivos. Con el objetivo de evaluar el deterioro de los bienes patrimoniales - bienes inmuebles de la provincia de Manabí a partir del sismo del 16 de abril del 2016, desde el punto de vista técnico y económico se realizó el presente trabajo. Se hizo el análisis patológico de 169 viviendas inventariadas por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural como bienes patrimoniales – bienes inmuebles, de las cuales 35 se encuentran en el cantón Portoviejo, 51 en Sucre, 22 en Manta, 23 en Jama, 25 en Jipijapa y 13 en Montecristi; lo que permitió analizar el deterioro presente en estas edificaciones. Se definió el estado técnico constructivo de las edificaciones y el impacto económico, a partir de los niveles de deterioro determinados antes y después del sismo; definiendo así los efectos del terremoto. Se determinaron las lesiones más frecuentes por zonas de estudio y se estableció una comparación

entre las áreas estudiadas. El trabajo presentado es el resultado del Proyecto de Investigación “Análisis técnico-económico del deterioro en Bienes Patrimoniales – Bienes Inmuebles de la provincia de Manabí asociado al ambiente marino”.

Palabras clave: Estudio patológico, Bienes Patrimoniales Inmuebles, Análisis Técnico-Económico, Sismo.

ECONOMIC TECHNICAL ANALYSIS OF DETERIORATION OF BUILDINGS WITH HERITAGE VALUE OF MANABÍ AS A CONSEQUENCE OF 16A

Abstract:

The conservation and recovery of the built-up bottom of the cities is a way to travel, aimed at recovering the memory and guaranteeing the cultural inheritance of future generations. Rehabilitation is a need for building throughout its useful life, which requires a series of actions on the main construction elements. With the objective of evaluating the deterioration of the buildings with heritage value of the province of Manabí from the earthquake of April 16, 2016 from the technical and economic point of view, the present work was carried out. The pathological analysis of 169 houses inventoried by the National Institute of Cultural Heritage was made as buildings with heritage value, of which 35 are in the Canton Portoviejo, 51 in Sucre, 22 in Manta, 23 in Jama, 25 in Jipijapa and 13 in Montecristi; what allowed analyzing the deterioration present in these buildings. The constructive technical condition of the buildings and the economic impact were defined, starting from the levels of deterioration determined before and after the earthquake; thus defining the effects of the earthquake. The most frequent lesions were determined by study areas and a comparison between the areas studied was established. The presented work is the result of the Research Project “Technical-economic analysis of deterioration in buildings with heritage value of the province

of Manabí associated with the marine environment”.

Keywords: Pathological study, Real estate assets, Technical-Economic analysis, Earthquake.

Introducción

A partir del siglo XX y hasta el presente ha sido creciente el interés por la Conservación y Rehabilitación del fondo edificado de las ciudades. La preocupación por encontrar los materiales y métodos para revertir los estados de deterioro, el estudio sistemático de las patologías de la construcción, la identidad y educación cultural de las sociedades sobre la salvaguarda del patrimonio, han sido temas desarrollados por innumerables especialistas y entidades.

La Rehabilitación de un inmueble implica rescatarlo físicamente, devolverle su vida útil a través de diversas actuaciones sobre los elementos que presentan signos de deterioro o han perdido su función constructiva. Para llevar a cabo con éxito las propuestas de actuación, es necesario realizar el análisis patológico del inmueble, a partir de determinar las lesiones y sus posibles causas, para llegar a soluciones acertadas y efectivas que mantengan la edificación en buen estado de conservación.

La ocurrencia del pasado terremoto del 16 de abril tuvo nefasta consecuencia en el patrimonio edificado al ser considerable el número de inmuebles patrimoniales que sufrieron daños irreversibles. A partir de la esta problemática se plantea la siguiente hipótesis: “El estudio de los niveles de deterioro a partir del estudio de las edificaciones antes y después del terremoto del 16 de abril del 2016 y su incidencia en el estado técnico de los Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles de la provincia de Manabí permiten una definición más precisa del impacto del desastre en los inmuebles”.

Como Objetivo General se plantea: Evaluar el deterioro de los bienes patrimoniales - bienes inmuebles de la provincia de Manabí a partir del

sismo del 16 de abril del 2016, desde el punto de vista técnico y económico.

La presente investigación realiza el estudio patológico de las edificaciones en función de los niveles de deterioro que estas presentaron, determinándose los niveles de deterioro, el Estado Técnico Constructivo y el Costo Total de Rehabilitación en función del deterioro experimentado. Esta propuesta se realiza a partir de las fichas de registro e inventario de los Bienes Patrimoniales - Bienes Inmuebles en la cual se hace una selección de una muestra de edificaciones localizadas en diferentes cantones de la provincia de Manabí.

Desarrollo

El interés de especialistas y entidades internacionales por la Conservación del Patrimonio comienza a tomar fuerza en el siglo XX, realizándose en diversos países eventos sobre esta temática y redactándose documentos cuyo motivo o tema principal era la conservación del patrimonio. (López Morales y Vidargas, 2014) (UNESCO, 2014) (UNESCO, 2012)

El primer documento internacional que presenta principios y normas generales para la conservación y restauración de monumentos fue la Carta de Atenas (López Morales y Vidargas, 2014), redactada en la Conferencia Internacional sobre protección del Patrimonio Histórico en 1931. Con posterioridad a este primer documento, se comienzan a crear en el mundo importantes organismos internacionales para la salvaguarda y restauración del patrimonio, entre los que se pueden citar: Organización de las Naciones Unidas (ONU) y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), creadas ambas en París en 1945, Consejo Internacional de Museo (ICOM), también en París en 1946, Consejo de Europa, fundada en Bruselas en 1949, Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ICCROM), creada en Roma en 1957, Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), en Varsovia en 1965,

Documentación y Conservación de la Arquitectura y el Urbanismo del Movimiento Moderno (DOCOMOMO), fundada en Holanda en 1990 y Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (CICOP), en España en 1993, entre otros.

En 1964 se redacta la Carta de Venecia (López Morales y Vidargas, 2014), como conclusión del II Congreso de Arquitectos y Técnicos en Monumentos Históricos, bajo los auspicios de la UNESCO. En este documento se observa ya una evolución con respecto a la Carta de Atenas, sobre todo porque se supera el concepto de monumento, para abarcar otros más amplios, como los ámbitos urbanos y rurales, así como elementos más modestos que con el tiempo puedan adquirir significado cultural.

Otro momento importante fue en 1975, cuando se celebró en Ámsterdam el Congreso sobre el Patrimonio Arquitectónico Europeo, en este evento el Comité de Ministros del Consejo de Europa redactó la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico, abordándose las siguientes problemáticas: las ciudades antiguas y los pueblos tradicionales, la diversidad, la utilización del patrimonio como fuente económica, el equilibrio armonioso de las sociedades, el valor educativo, la conservación integrada y la justicia social.

En 1976 se llevó a cabo la Asamblea General de ICOMOS, donde se redactó la Carta del Turismo Cultural (ICOMOS, 1976) y al año siguiente se celebró en Quito, el Coloquio sobre la preservación de los Centros Históricos ante el crecimiento de las ciudades contemporáneas (UNESCO/UNEP, 1977), estableciéndose las políticas a seguir para la conservación integral de los centros históricos de las ciudades.

ICOMOS en su VIII Asamblea General realizada en Washington en 1987 redactó la Carta Internacional para la Conservación de las Ciudades Históricas (ICOMOS, 1987), la cual propugna una cultura ciudadana y establece que los habitantes de un lugar son participantes activos en la acción conservadora y definitivos usuarios de la ciudad conservada.

En 1992 se celebró en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones

Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, quedando establecido, el concepto de desarrollo sostenible (ONU, 1992). En 1994 se lleva a cabo en Japón la Conferencia de Nara donde se redacta la Declaración de Nara (López Morales y Vidargas, 2014), documento que abordaba la temática de la autenticidad del patrimonio.

En el 2000 se redactó la Carta de Cracovia (López Morales y Vidargas, 2014) donde se recogen los principios para la conservación y restauración del patrimonio construido en la Conferencia Internacional sobre Conservación “Cracovia 2000”. Se aborda el tema de la diversidad cultural y se introduce el concepto polémico de gestión del cambio.

Así, paso a paso, comenzó a transitarse por un camino dirigido a recuperar la memoria y garantizar la herencia cultural de las generaciones futuras, hasta llegar a la actualidad con un importante grupo de documentos, eventos y organizaciones internacionales dirigidas a la correcta conservación y valoración de nuestro patrimonio (González Rodríguez, 2014). Habiéndose realizado un número importante de Asambleas y Reuniones internacionales al respecto y creado 8 organizaciones internacionales para la salvaguardia del patrimonio.

Estas intervenciones sobre el rescate del patrimonio no sólo iban dirigidas a las monumentales y simbólicas obras arquitectónicas, sino también al vasto fondo edificado que poseen las ciudades, los cuales a lo largo de los años van adquiriendo mayores valores, pero a su vez acumulan elevados niveles de deterioro. La necesidad de detener la pérdida de valores debido al progresivo deterioro constructivo y el costo socio-económico que implica, ha marcado un camino de estudio en función de su conservación.

Ecuador también ha dirigido una visión especial sobre el tema de la conservación y el rescate del patrimonio edificado, a través de la formación de especialistas que abordan esta temática en sus investigaciones, con el establecimiento de leyes y la creación de instituciones que velan por el

patrimonio cultural y la riqueza artística e histórica de la nación como lo es el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC).

La preocupación por conservar el fondo construido que poseen las ciudades, formado en su mayoría por edificios que han culminado su ciclo de vida útil, pero que forman parte del legado histórico a las futuras generaciones y merecen ser conservados (Throsby, 2007, citado en Domínguez Gutiérrez y González Pajaro, 2015), ha generado en los últimos años que numerosos especialistas se enfoquen en los altos niveles de deterioro que presentan las edificaciones, las patologías que aparecen, sus causas y sus posibles soluciones.

En el ámbito internacional, un colectivo de autores de la Diputación de Barcelona ha desarrollado desde 2001, una de las líneas del Programa de Conservación y Restauración, con la cual pretende implementar planes de conservación preventiva mediante inspecciones periódicas —y de seguimiento a medio y largo plazo— que permitan mantener el Patrimonio Cultural Local en las mejores condiciones posibles (Iglesias Campo et al., 2015). Tejera y Álvarez (2012) realizan un amplio estudio con su libro sobre patología de las edificaciones, donde profundizan en cada una de las lesiones y muestran la metodología a seguir para el diagnóstico de las mismas. Pérez (2000) profundiza en las humedades, una de las lesiones más importantes, pues puede ser causa de otras. Esta clasificación la realiza según sus causas: humedades por capilaridad, por filtración, por condensación y humedad de obra y brinda posibles soluciones para evitarla o eliminarla.

El problema del entorno y su acción sobre los paramentos expuestos conlleva a muchos estudios sobre el tema, en su tesis de doctorado Pérez Hechazabal (2000, citado por Ravelo Garrigó, 2011) expresa que: “...el desarrollo industrial y la expansión de las ciudades han incrementado los niveles de contaminación que genera cambios climáticos que inciden en las condiciones que rodean a las construcciones. Aborda la influencia del

medio ambiente en los monumentos del Centro Histórico de la Ciudad e introduce el concepto de microambiente o de Unidades Medioambientales (UMA)...”

Todos los trabajos realizados con anterioridad en Ecuador y en el extranjero evidencian la importancia y necesidad de proyectos de rehabilitación que reviertan el deterioro del fondo edificado, sobre la base de diagnósticos previos que permitan aprovechar al máximo las potencialidades que ofrece la estructura y los materiales adecuados para lograr el éxito y efectividad de la intervención realizada.

Las tendencias mundiales actuales en el campo de la arquitectura y el urbanismo consideran la rehabilitación del patrimonio cultural como una de las áreas más importantes de la actividad profesional, la cual apunta hacia actuaciones que consideren tanto el ambiente construido como el natural, integrados en una visión coherente dirigida al mejoramiento del espacio de vida del hombre.

En el pensamiento más avanzado se pretende alcanzar la relación dialéctica entre lo que debe preservarse como memoria histórica de la sociedad, como factor que contribuye a la identificación de los habitantes con el lugar en que habitan, y la respuesta a las necesidades de la vida contemporánea, con un fundamento económico y sociocultural.

La situación actual está signada por la expansión del concepto de valor, tanto en el sentido temporal como dimensional y geográfico. En el plano teórico se reconoce el abandono de una visión básicamente monumental por una concepción más antropológica y global de la evidencia material de las diferentes culturas del mundo.

En Ecuador, la Unidad de Gestión de Emergencia de Patrimonio Cultural (creada por el presidente de la República, Rafael Correa Delgado, el 21 de diciembre de 2007 mediante Decreto Ejecutivo No. 816) ha trabajado arduamente para recuperar el patrimonio material e inmaterial de los ecuatorianos. En una decisión inédita, inclusive en el ámbito internacional,

el Gobierno de la Revolución Ciudadana asignó 33,6 millones de dólares para abordar el trabajo en un sector nunca antes considerado por los gobiernos.

Los bienes que conforman este patrimonio son únicos y no renovables y constituyen una fuente de información para la construcción del conocimiento y de la identidad de Ecuador. Sobre la consideración de que su pérdida provoca una fragmentación de la memoria colectiva y compromete la preservación de la herencia cultural de la nación, se realiza esta propuesta de investigación.

Metodología

Se realizó el Estudio Analítico Transversal de 6 cantones de la Provincia de Manabí que sufrieron el impacto del sismo del 16 de abril de 2016 (Montecristi, Portoviejo, Sucre, Manta, Jama y Jipijapa), a partir del estudio de las viviendas inventariadas como Bienes Patrimoniales – Bienes Inmuebles por el INPC en su Sistema de Información para la Gestión de Patrimonio Cultural (INPC, 2011). A partir del diagnóstico patológico de dichos bienes patrimoniales, antes (1 meses) y después (2 mes) del sismo se pudo determinar los niveles de deterioro en los inmuebles.

El Sistema de Información para la Gestión del Patrimonio Cultural (INPC.AME, 2011) muestra un total de 8 652 Bienes patrimoniales – Bienes Inmuebles inventariados (282 en Manabí) y 13 389 registrados (86 en Manabí).

Por las razones expuestas, la selección de la muestra se realizó de manera no probabilística y estuvo conformada por 169 viviendas que se encuentran inventariadas como Bienes Patrimoniales Inmuebles por el INPC, las cuales se localizan en la Provincia de Manabí distribuidas de la siguiente manera: 35 viviendas en el cantón Portoviejo, 51 en Sucre, 22 en Manta, 23 en Jama, 25 en Jipijapa y 13 en el cantón Montecristi (Figura 1) (Figura 2). Bienes inmuebles todos que sufrieron directamente

el impacto del sismo, por lo que puede advertirse una marcada incidencia del desastre en los bienes patrimoniales.

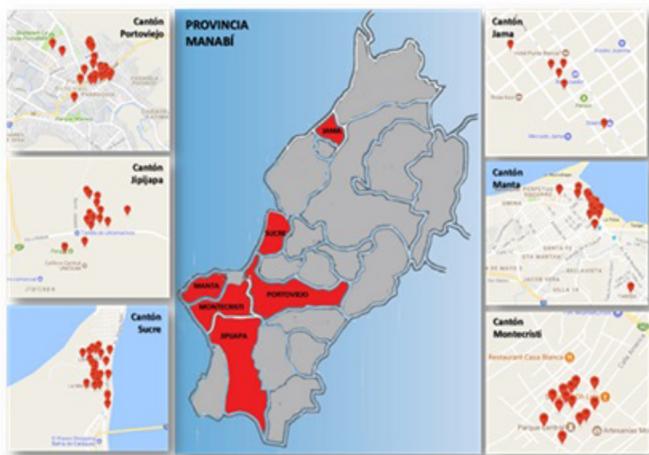


Figura 1: Ubicación y distribución de los casos de estudio



Figura 2: Muestra representativa de las viviendas inventariadas como Bienes Patrimoniales – Bienes Inmuebles de los cantones estudiados

Todas las edificaciones fueron inspeccionadas en marzo del 2016 y vueltas a inspeccionar 2 meses después luego del sismo del 16 de abril del 2016. Inspecciones todas en las cuales se utilizó como herramienta, la Ficha de Inspección Detallada (Tejera y Álvarez, 2012) para obtener las principales lesiones y los niveles de daños.

Se analizaron las lesiones observadas en las edificaciones, para ello se emplearon fichas de inspección para la recogida de datos basado en la metodología establecida por Tejera y Álvarez (2012). Dicha metodología contempla 22 elementos que componen las edificaciones, divididos en 6 partes entre las que se cuentan: Estructura, Fachadas, Cubiertas, Instalaciones, Elementos Comunes y Elementos privados. Cada componente del edificio se observó independiente del todo y a su vez a cada una de las partes le corresponde una ficha de Inspección particular. La Ficha de Inspección Detallada permitió recoger toda la información referente a los inmuebles: sus características, modificaciones del estado original, síntomas a observar en busca de las lesiones, lo que finalmente permitió definir un estado de conservación en función de los niveles de daños detectados.

Para la búsqueda de información se tuvieron en cuenta los siguientes métodos: recopilación de datos; observación; información oral; deducción de la causa del efecto a partir de comparar síntomas con comportamiento de los materiales / Valoración de los agentes causales y uso de fichas de inspección detallada.

El cálculo del Indicador de Costo de Rehabilitación en función del Estado Técnico Constructivo de cada una de las edificaciones estudiadas se obtuvo a partir de la Ecuación 1. (González Rodríguez, 2014)

$$\text{ICR} = (1 - \text{Pts. (ETC)}) * (\text{ICA} * 0.162) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: ICR: Indicador de Costo de Rehabilitación / Ptos (ETC): Puntuación del Estado Técnico Constructivo / ICA: Indicador de Costo

por Área

El Indicador de Costo por Área para el mejoramiento de viviendas se asumió de 260 \$/m² como valor máximo a partir de Certificado emitido por el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (Banco del BIESS, 2016)

Resultados y discusión

El llenado de las Fichas de Inspección arrojó las principales lesiones que afectan las fachadas, para así determinar la frecuencia de aparición y la afectación por elemento componente. Una vez definidos los Niveles de daño para cada uno de los elementos componentes de las fachadas y sobre la base de la Tabla Ponderada, se determinó la Clasificación del Estado Técnico Constructivo para cada una de las fachadas de los inmuebles de las tres zonas de estudio, para las 2 inspecciones realizadas, antes y después del sismo.

El análisis de los Estados Técnicos Constructivos de cada uno de los inmuebles analizados antes y después del terremoto muestran las diferencias experimentadas por el fondo edificado. Antes del sismo el 71% de las viviendas se encontraba entre Muy Bueno y Buen estado, lo que disminuyó a 46% luego del movimiento telúrico. (Figura 3 y Figura 4)

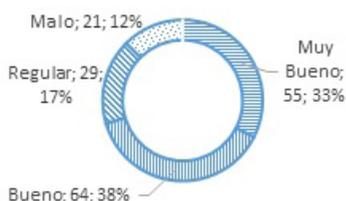


Figura 3: Estado Técnico Constructivo (antes del sismo)

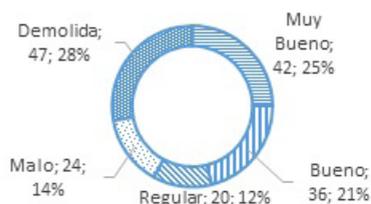


Figura 4: Estado Técnico Constructivo (después del sismo)

La comparación entre las zonas estudiadas del Estado Técnico Constructivo de los inmuebles, tanto de las inspecciones realizadas antes del sismo, como las llevadas a cabo luego del movimiento telúrico, permitió establecer que la zona de Jama fue la más afectada al tener una pérdida por demoliciones a raíz del impacto del sismo del 74% de sus viviendas patrimoniales (17 viviendas). Por su parte, los cantones de Manta y Jipijapa fueron los menos afectados, no tuvieron la pérdida de ninguna vivienda. El cantón Sucre y Portoviejo también sufrieron daños considerables al tener que demoler 18 y 11 viviendas patrimoniales respectivamente. (Figura 5)

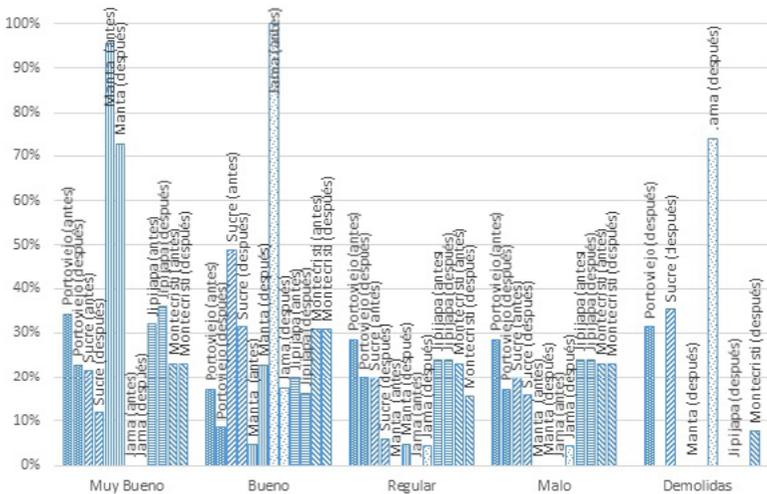


Figura 5: Comparación por zona del Estado Técnico Constructivo (169 Bienes patrimoniales Inmuebles)

La Figura 6 muestra el comportamiento del Estado Técnico Constructivo de las 169 viviendas patrimoniales analizadas, encontrándose la mayor cantidad en la clasificación de Demolidas, para un 28% y seguidos por un 25% correspondiente a la de Muy Bueno. Los inmuebles que se encuentran en estado Regular y Malo de conservación representan

el 12% y 14% respectivamente y el 20% restante corresponde a la clasificación de Bueno.

Al hacer un análisis del comportamiento del estado técnico de las viviendas patrimoniales analizadas se puede observar que los mayores porcentajes se encuentran manteniendo su estado técnico constructivo. Tanto en Jipijapa como en Sucre una vivienda mejoró por acciones realizadas de inmediato a raíz del sismo. En Montecristi todas las viviendas mantuvieron su estado a excepción de una que se perdió. Por su parte, el cantón Jama experimentó las mayores pérdidas, el 74% de las viviendas patrimoniales fueron demolidas, unido a Sucre y Portoviejo con 35 y 31 por ciento de demolición respectivamente. (Figura 6)

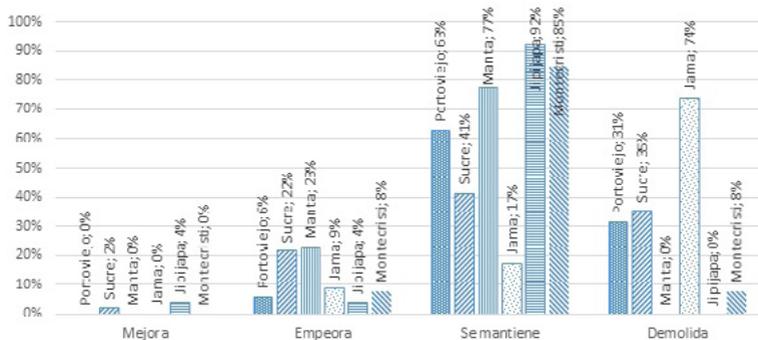


Figura 6: Comportamiento del Estado Técnico Constructivo como consecuencia del sismo del 16 de abril del 2016 por zonas de estudio

El análisis arrojó que el 55% de las edificaciones experimentaron un aumento en su deterioro de más de un 5%, de las cuales el 28% tuvo que ser demolida. Estos resultados reflejan no sólo un descenso en la puntuación que los hace clasificar en un estado técnico u otro, sino que ese descenso implicó cambio en su estado técnico constructivo final.

Al hacer un análisis más exhaustivo de los casos de estudio (Figura 7) se observa que 98 edificaciones, para un 58%, mantienen la clasificación de su Estado Técnico Constructivo, 2 mejora, para un 1%, 69, para un

41% empeoran, de las cuales 47 viviendas patrimoniales se pierden como consecuencia de las demoliciones a partir del deterioro sufrido por la acción del sismo.

El análisis del Indicador de Corto de Rehabilitación refleja su incremento resultado del deterioro en el periodo analizado.

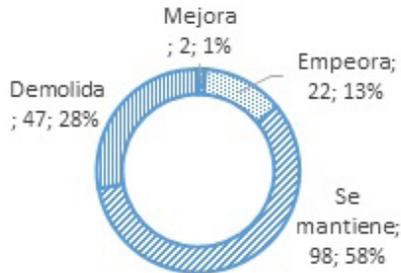


Figura 7: Comportamiento del ETC de las viviendas como consecuencia del sismo del 16 de abril de 2016

El costo de las acciones de rehabilitación antes del sismo se valoró en 2.180 \$/m² para el total de las edificaciones, mientras que después del terremoto este valor aumentó a 3.648 \$/m². Esto representa un incremento en el Indicador de Costo por Área de 1.468 \$/m². (Tabla 1)

Coincidiendo con los resultados de las zonas más afectadas desde el punto de vista técnico de las edificaciones se presentan los análisis del Indicador de Costo por Área para cada zona de estudio. Las mayores pérdidas económicas se encuentran en los cantones de Sucre, Jama y Portoviejo, en ese orden. Cabe resaltar que a pesar de ser Jama el cantón con el mayor porcentaje de demoliciones, es el cantón Sucre quien perdió un mayor número de inmuebles. Esto se debe a que es Sucre la zona de estudio que cuenta con más Bienes Patrimoniales y por ende las pérdidas desde el punto de vista monetario son mayores. El cantón Jipijapa experimenta una disminución en el Indicador debido a que 1 de sus edificaciones fue remodelada totalmente.

Tabla 1: Valores del Indicador de Costo de Rehabilitación (\$/m²) para los 169 inmuebles estudiados

Cantones	ICA (\$/m ²)		
	Antes del Terremoto	Después del Terremoto	Diferencia
Portoviejo	500,81	843,24	342,44
Sucre	739,21	1312,88	573,67
Manta	80,03	107,83	27,80
Jama	308,32	818,81	510,49
Jipijapa	394,24	389,19	-5,05
Montecristi	156,95	175,72	18,77
TOTAL	2.179,55	3.647,67	1.468,12

Conclusiones

1. De las 169 viviendas patrimoniales analizadas, el 28% fue demolida y el 25% se encuentra en un Estado Técnico de Muy Bueno. Los inmuebles que se encuentran en estado Regular y Malo de conservación representan el 12% y 14% respectivamente y el 20% restante corresponde a la clasificación de Bueno.

2. Al hacer un análisis del comportamiento del deterioro antes y después del sismo se obtiene que el 58% de las viviendas analizadas mantienen la clasificación de su Estado Técnico Constructivo, 2 mejoran (1%), el 13% empeoran (sin llegar a ser demolidas) y 47 viviendas patrimoniales (28%), se pierden como consecuencia de las demoliciones a partir del deterioro sufrido por la acción del sismo.

3. La comparación del Estado Técnico Constructivo entre las diferentes zonas permitió establecer que la zona de Jama fue la más afectada al tener una pérdida por demoliciones a raíz del impacto del sismo del 74% de sus viviendas patrimoniales (17 viviendas); por su parte, los cantones de Manta y Jipijapa fueron los menos afectados, al no perder ninguno de sus inmuebles patrimoniales. Los cantones de Sucre

y Portoviejo también se vieron seriamente afectados al tener el 35 y 31 por ciento de demolición respectivamente.

4. El costo de las acciones de rehabilitación antes del sismo se valoró en 2.180 \$/m² para el total de las edificaciones, mientras que después del terremoto este valor aumentó a 3.648 \$/m²; lo que representa un incremento en el Indicador de Costo por Área de 1.468 \$/m².

5. Las mayores pérdidas económicas se encuentran en los cantones de Sucre, Jama y Portoviejo, en ese orden; las cuales ascienden a 1468,12 \$/m². Cabe resaltar que a pesar de ser Jama el cantón con el mayor porcentaje de demoliciones, es el cantón Sucre quien perdió un mayor número de inmuebles. Esto se debe a que es Sucre la zona de estudio que cuenta con más Bienes Patrimoniales y por ende las pérdidas desde el punto de vista monetario son mayores.

Bibliografía

- Banco del BIESS. (2016). Certificado. *Emitido por Pablo Caicedo Salto, Asesor de Créditos del BIESS*. Chone, Manabí.
- Domínguez Gutiérrez, J., González Pajaro, A. (2015). Valoración Técnica del deterioro de la edificaciones en la zona costera de Santa Fe. *Arquitectura y Urbanismo, XXXVI*(1), 48-61.
- González Rodríguez, N. (2014). *Valoración Técnica-Económica del deterioro de edificaciones ubicadas en ambientes marinos bajo la influencia agresiva de elementos climáticos*. Tesis en opción al título académico de Máster en Ciencias para la Conservación del Patrimonio Edificado. La Habana.
- ICOMOS. (1976). *Carta de Turismo Cultural*. Bruselas: UNESCO.
- ICOMOS. (1987). Carta internacional para la conservación de Poblaciones y Áreas urbanas históricas. *Asamblea General de ICOMOS*. Washington.
- Iglesias Campo, M., AVECILLA Palau, M., Llach Berné, M. (2015). Conservación

- y mantenimiento del patrimonio inmueble: la Cruz de Término de El Masnou. *Ge-conservación*(7), 24-36.
- INPC. (2011). *Instructivo para la fichas de registro e inventario de Bienes Inmuebles*. Quito: Ediecuatorial.
- INPC.AME. (2011). *Manual de uso para el manejo del Sistema de Información Patrimonial. Ábaco. Sistema de Información para la Gestión Patrimonial*. Quito: Flores.
- López Morales, F. J., Vidargas, F. (2014). *Los nuevos paradigmas de la conservación del patrimonio cultural. 50 años de la Carta de Venecia*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- ONU. (1992). *Agenda 21. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro.
- Pérez Hechazabal, L. (2000). *Influencia del medio ambiente en la patología de los monumentos de alto valor histórico construidos con materiales pétreo naturales*. Tesis presentada en opción al Título de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana.
- Ravelo Garrigó, G. (2011). Influencia de los elementos climáticos en el deterioro de las fachadas del Barrio Colón. *Arquitectura y Urbanismo*(3), 38-47.
- Tejera, P., Álvarez, O. (2012). *Patología de la Construcción*. La Habana: Editorial Universitaria "Félix Varela".
- Throsby, D. (2007). El Patrimonio y la Economía: algunos conceptos de base. *IX Congreso Mundial de la Organización de las Ciudades Patrimonio Mundial*. Kazan: The Getty Conservation Institute.
- UNESCO. (2014). *Textos Fundamentales de la Convención para la salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial del 2003*. París: UNESCO.
- UNESCO/IPNUD. (1977). Coloquio sobre la preservación de los Centros Históricos ante el crecimiento de las ciudades contemporáneas. Conclusiones del Coloquio. Quito.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A EDIFICIO AFECTADO EL 16 DE ABRIL DE 2016

Darío Páez Cornejo

Ingeniero Civil, Docente Investigador, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Avenida Circunvalación - Vía a San Mateo, Teléfono: 0984326724, Correo: julio.paez@uleam.edu.ec

Daniela Vera Chiluita

Ingeniera Civil, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. 0990850478.
Correo: daniela.vera.ch@gmail.com

Jhon Barberán Quijije

Ingeniero Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. 0969949488.
Correo: j-honhenry@hotmail.com

Resumen

El evento sísmico de 7.8 grados en la escala de Richter sentido en todo el Ecuador el 16 de abril de 2016 afectó de forma particular a las provincias de Esmeraldas y Manabí. Siendo la segunda la más afectada. Un sin número de construcciones sufrieron grandes daños o colapso a raíz del suceso. Creando la incertidumbre de investigar el motivo de la falla.

Se realizaron tres análisis a los cuatro bloques que conforman la edificación, para conocer cómo se comportó la estructura: Análisis espectral, obteniendo los desplazamientos y derivas de cada piso en centro de masas. Análisis dinámico lineal tiempo historia, dando resultados más certeros al obtener los desplazamientos máximos en cualquier intervalo de tiempo de la duración del sismo. Finalmente, un análisis estático no lineal Pushover que consiste en diversos análisis elásticos secuenciales, que se superponen para formar un diagrama de curva de capacidad, llevando a la estructura al colapso. Para el primer análisis se

usó el espectro de respuesta obtenido en la ciudad de Manta, mientras que para el análisis tiempo historia el acelerograma en las componentes Norte-Sur y Este-Oeste de la misma ciudad.

No se consideró el efecto del suelo en la estructura, ni la edad avanzada de vida útil. Resaltando que el bloque más afectado en periodos de vibración (análisis 1), derivas de piso (análisis 2), y esfuerzos para llegar al colapso (análisis 3) es el bloque 4. Para la modelación de los cuatro bloques estructurales se utilizó dos programas computacionales el Sap2000 y el Matlab (CEINCI-LAB).

Palabras claves: Sismo, Análisis Espectral, Análisis Tiempo Historia, Pushover.

ANALYSIS OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR TO BUILDING AFFECTED ON APRIL 16, 2016

Abstract:

The seismic event of 7.8 degrees on the Richter scale felt all over the Ecuador on 16th April, 2016. Particularly affected the provinces of Esmeraldas and Manabí. The second being the most affected. A lot of constructions suffered great damages or collapse at the root of the event. Creating the insertion research of investigating the reason for the fault.

Three analyzes were made to the four blocks that make up the building, to know how the structure behaved: Spectral analysis, obtaining the displacements and drifts of each floor in mass center. Linear dynamic analysis time history, giving results similar to the previous but more accurate because they can be obtained in any desired time of the duration of the earthquake. Finally, a static nonlinear Pushover analysis consisting of several sequential elastic analyzes, which are overlap to form a known diagram the capacity curve, leading to the collapse structure. For the first analysis used the spectrum obtained from Manta and for the second

analysis used the accelerogram in North-South and East-West components of the same city.

We did not consider the effect of soil on the structure, nor the advanced age of useful life. Note that the most affected block in periods of vibration (analysis 1), floor drifts (analysis 2), and efforts to arrive at collapse (analysis 3) is block 4. For the modeling of the four structural blocks two computer programs were used: Sap2000 and Matlab (CEINCI-LAB).

Keywords: Earthquake, Spectral Analysis, Time History, Analysis Pushover.

Introducción

La seguridad de una estructura representa uno de los aspectos principales que el calculista debe pensar al momento de diseñar una edificación. Ante movimientos telúricos, se puede encontrar diferentes problemáticas en las estructuras. Por fallas de cálculo, de materiales, irresponsabilidad, suelos blandos, etc. Generando un sin número de patologías, que no siempre serán las mismas. Cada evento sísmico tiene su peculiaridad y ninguno es igual a otro. El 16A afectó un gran número de construcciones en la ULEAM, desde las más viejas a las nuevas.

La Facultad de Administración se encontraba ubicada dentro de las instalaciones de la ULEAM, siendo uno de los edificios derrocados post terremoto, mostrando interés para esta investigación debido a los años de vida útil (más de cuatro décadas), calidad de materiales, inconsistencia de los elementos estructurales y la forma de construcción o uso de normas que se consideraban en esos tiempos.

Se realizarán tres tipos de análisis para comprender el comportamiento de los cuatro bloques de la derrocada facultad en el momento del sismo con la finalidad de tener un dato real de como actuó esta, buscando mejorar las edificaciones viejas, las que no son tan nuevas, pero sobre todo

que la investigación sirva para tomar más consideraciones al construir.

Entre las limitaciones que se encuentra: no conocer el refuerzo longitudinal y transversal que se tenía, motivo por el que se utilizará una cuantía mínima. Tener las normas vigentes usadas al construir la estructura, cargas gravitacionales que fueron consideradas en el diseño de la obra, se asumirá un tipo de suelo, puesto que no se realizará un estudio del mismo.

Adquirido los conocimientos más la ayuda de los programas computacionales resulta una herramienta clave en la realización de una investigación. A pesar de que el edificio ya no se encuentre se cuenta con el levantamiento horizontal, las secciones de los elementos estructurales, planos arquitectónicos y un estudio post terremoto del estado del hormigón realizado por un grupo de docentes y alumnos especializados. El objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento estructural de los bloques de la derrocada facultad de administración de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en el terremoto del 16 de abril, a su vez compararlos con los factores dinámicos en relación a la norma ecuatoriana de la construcción y determinar la capacidad de la estructura identificando los elementos que presentaron fallas.

Desarrollo

El edificio derrocado de la facultad de administración de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, estaba compuesta por cinco bloques estructurales, dos de tres pisos, uno de cuatro pisos y dos de dos pisos, de los cuales uno no se considerará en los siguientes análisis debido a que solo tenía como función conservar la puerta del acceso principal y para soportar una cubierta metálica; el material principal estaba conformado de hormigón armado. Los bloques en estudio poseen elementos estructurales de igual dimensión, pero sí mostraba deficiencias estructurales, como la no continuidad de columnas de piso en piso (en el

presente proyecto para la facilitación de los análisis se completaron los pórticos con secciones despreciables). El espesor de las losas alivianadas es de 25cm, las dimensiones de las columnas desde el primer hasta el cuarto piso son de 40/40, mientras que las vigas del primer y segundo piso son de 35/55 y las vigas del tercer y cuarto piso son de 30/35. En los últimos pisos, aunque contaba con vigas en sentido X existían cerchas realizadas con varillas de 8mm para que se apoye la cubierta metálica que a continuación en el cálculo se considerara como que no aportan rigidez a la estructura. La Facultad de Administración poseía 40 años de vida útil, siendo esta uno de los factores importantes para el comportamiento que obtuvo en el evento sísmico del 16 de abril de 2016.

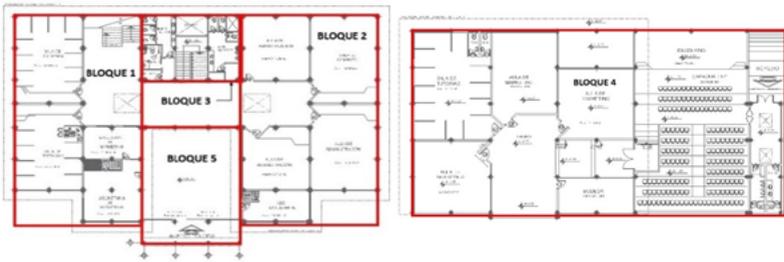


Figura 1: Bloques de la Facultad de Administración. Fuente: Departamento Técnico.

Se revisarán informes post-terremoto del estado del hormigón, llamando la atención que esta estructura había sido reforzada con acero años anteriores, los cuales al momento de realizado el análisis presentaban daño, por tanto, en este proyecto estos reforzamiento de acero no se tomarán en cuenta. El valor promedio de la resistencia a la compresión del hormigón que presenta el informe es de $f'c=178\text{kg/cm}^2$ para el cálculo se usará una resistencia del hormigón de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Mediante el uso del espectro de Manta obtenido del terremoto del 16 de abril de 2016 se calculan los desplazamientos en sentido X e Y con las

componentes N-S y E-W de cada bloque estructural. Con los programas: “desplazamientos_modales_CQC” para desplazamientos y “deriva” para derivas, ambos de CEINCI-LAB. El desplazamiento lateral de un piso se puede definir como la acción que tiene una fuerza en sentido horizontal en un piso, que será medido en la misma línea vertical de la estructura. Las derivas de piso se calculan para el control de las deformaciones según la norma ecuatoriana de la construcción (NEC). Estas deberán ser de un valor menor al 2% en cada piso. Con la finalidad que la estructura no sufra daños mayores ante eventos sísmicos, al contrario que siga trabajando correctamente, como lo determinan los niveles de desempeño.

Se utiliza el acelerograma de Manta obtenido en el terremoto ocurrido en Ecuador el 16 de abril de 2016, datos que han sido facilitados gracias a la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC). El análisis tiempo-historia se realiza para la componente horizontal de cada acelerograma que actúan para el sentido x como para el sentido y.

Las rótulas plásticas en el caso de las columnas se asignaron en un 5% y 95% de la altura de cada elemento, para esto se consideró un caso de carga estática no lineal en la dirección X y la dirección Y. Para el caso de las vigas las rótulas al igual que en las columnas se asignaron en un 5% y 95% y a su vez un M3 por flexión.

Del análisis modal espectral se obtuvieron los periodos de vibración de cada bloque expresados en segundos, en el programa “orden_eig” de CEINCI-LAB. Mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 1: Periodos de vibración de cada bloque. Fuente. Autoría propia.

Periodos de vibración (segundos)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bloque 1	0,52	0,49	0,39	0,18	0,17	0,14	0,12	0,12	0,09			
Bloque 2	0,55	0,54	0,33	0,19	0,18	0,13	0,12	0,12	0,08			
Bloque 3	0,59	0,58	0,38	0,21	0,21	0,14	0,12	0,12	0,09	0,09	0,08	0,05
Bloque 4	0,76	0,38	0,32	0,25	0,17	0,09						

Los periodos propios dependen de las características físicas, tendrá un menor periodo a mayor longitud, mayor periodo a mayor altura y las densidades de los muros. Se obtiene tres valores de modos de vibración por cada piso que se tenga, siendo el primer modo para X, el segundo para Y y el tercero para torsión. El primero de estos se denomina periodo fundamental en la tabla 5, se ve el valor de cada piso por bloque. Los periodos fundamentales de cada bloque son para el bloque 1 (0,52 seg), bloque 2 (0,55 seg), bloque 3 (0,59 seg) y bloque 4 (0,76 seg).

Tabla 2: Resultados del análisis espectral del bloque 1. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 1						
Sentido X	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
q_{INE} (cm)	2,8	5,42	6,88	2,03	3,88	4,94
γ (%)	0,80	0,75	0,49	0,58	0,53	0,35
Sentido Y	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
q_{INE} (cm)	3,76	7,22	8,57	2,32	4,38	5,22
γ (%)	1,07	0,99	0,45	0,66	0,59	0,28

Tabla 3: Resultados del análisis espectral del bloque 2. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 2							
Sentido X		N-S			E-W		
Piso		1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)		4,02	7,5	9,42	2,53	4,71	5,92
γ (%)		1,15	0,99	0,64	0,72	0,62	0,40
Sentido Y		N-S			E-W		
Piso		1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)		1,29	2,44	2,9	0,78	1,41	1,69
γ (%)		0,37	0,33	0,15	0,22	0,18	0,09

Tabla 4: Resultados del análisis espectral del bloque 3. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 3									
Sentido X		N-S				E-W			
Piso		1	2	3	4	1	2	3	4
q_{INE} (cm)		3,64	7,63	10,27	12,15	2,13	4,45	5,98	7,08
γ (%)		1,04	1,14	0,88	0,63	0,61	0,66	0,51	0,37
Sentido Y		N-S				E-W			
Piso		1	2	3	4	1	2	3	4
q_{INE} (cm)		3,88	8,18	11,04	13,19	2,47	5,21	7,02	8,4
γ (%)		1,11	1,23	0,95	0,72	0,71	0,78	0,61	0,46

Tabla 5: Resultados del análisis espectral del bloque 4. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 4					
Sentido X		N-S		E-W	
Piso		1	2	1	2
q_{INE} (cm)		2,16	4,08	1,36	2,48
γ (%)		0,62	0,55	0,39	0,32
Sentido Y		N-S		E-W	
Piso		1	2	1	2
q_{INE} (cm)		1,99	5,28	1,86	3,99
γ (%)		0,57	0,94	0,53	0,61

En la tabla 2, que analiza el bloque 1, se nota desplazamientos muy parecidos en sus sentidos X y Y, ocurriendo el desplazamiento más severo en ambos sentidos en el último piso, pero en N-S. Ninguna deriva supera el 2% estipulado en la norma (NEC -15) siendo la más alta 1,07% dirección (N-S) piso 1 y la más baja 0,28% en el piso 3 dirección (E-W)

ambos en sentido Y.

En la tabla 3, que analiza el bloque 2, se obtienen valores más altos en sentido X y por mucho más bajos en sentido Y, se esperaba similitud en resultados al bloque 1 por lo parecido de sus secciones. Ocurriendo el desplazamiento más severo en sentido X en el último piso, pero en ambas direcciones. Ninguna deriva supera el 2% estipulado en la norma (NEC -15) siendo la más alta 1,15% dirección (N-S) piso 1, sentido X y la más baja 0,09% en el piso 3 dirección (E-W) en sentido Y.

En la tabla 4, que analiza el bloque 3, se obtienen los valores más altos de todos los bloques, desplazamientos parecidos entre los dos sentidos. El más severo en dirección (N-S) sentido Y, último piso. Ninguna deriva supera el 2% estipulado en la norma (NEC -15) siendo la más alta 1,23% dirección (N-S) piso 2, sentido Y y la más baja 0,37% en el último piso dirección (E-W) en sentido X.

En la tabla 5, que analiza el bloque 4, se obtiene los valores más bajos de todos los bloques, desplazamientos parecidos entre los dos sentidos. El más severo en dirección (N-S) sentido Y, último piso. Ninguna deriva supera el 2% estipulado en la norma (NEC -15) siendo la más alta 0,94% dirección (N-S) último piso, sentido Y, la más baja 0,32% en el último piso dirección (E-W) en sentido X.

A continuación, un gráfico de las derivas de un bloque, el número 3, siendo este el que tiene la mayor deriva de todos los bloques, son dos gráficos para cada componente como esta explicado en la tabla 4:

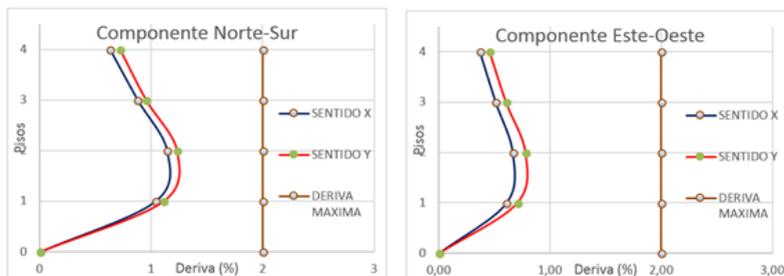


Figura 2: Resultados de derivas bloque 3. Fuente: Autoría propia.

RESULTADOS ANÁLISIS LINEAL TIEMPO HISTORIA

SAP200 a pesar de realizar análisis lineales y no lineales, no muestra las derivas de piso, por tanto es un resultado a calcular:

Tabla 6: Resultados de desplazamientos y derivas bloque 1.

BLOQUE 1						
Sentido X	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
qINE (cm)	4,63	7,89	10,16	3,02	5,01	6,02
γ (%)	1,32	0,93	0,76	0,86	0,57	0,34
Sentido Y	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
qINE (cm)	4,62	7,72	9,48	2,79	4,85	5,87
γ (%)	1,31	0,89	0,59	0,80	0,59	0,34

Se observa que la mayor es de 1.32% de la componente Norte-Sur del sentido X.

Tabla 7: Resultados de desplazamientos y derivas bloque 2.

BLOQUE 2						
Sentido X	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
qINE (cm)	3,14	5,88	6,94	2,1	3,83	4,51
γ (%)	0,90	0,78	0,35	0,60	0,49	0,23
Sentido Y	N-S			E-W		
	1	2	3	1	2	3
Piso						
qINE (cm)	3,01	5,83	6,89	2,22	4,06	4,74
γ (%)	0,86	0,81	0,35	0,63	0,53	0,23

El análisis del bloque 2, tabla 7 muestra un 0.90% de la componente Norte-Sur del sentido X, un menor porcentaje en su deriva máxima de piso, esto a pesar de poseer similitudes en planta al bloque 1.

Tabla 8: Resultados de desplazamientos y derivas bloque 3. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 3									
Sentido X	N-S				E-W				
	Piso	1	2	3	4	1	2	3	4
qINE (cm)	3,57	6,97	8,8	9,74	2,33	4,4	5,29	5,7	
γ (%)	1,02	0,97	0,61	0,31	0,67	0,59	0,30	0,14	
Sentido Y	N-S				E-W				
	Piso	1	2	3	4	1	2	3	4
qINE (cm)	3,69	7,12	8,75	11,93	2,39	4,6	5,5	5,89	
γ (%)	1,05	0,98	0,54	1,06	0,68	0,63	0,30	0,13	

La máxima deriva del tercer bloque estructural es de 1.06% en la componente Norte-Sur en sentido Y, teniendo en cuenta que está conformado por cuatro pisos.

Tabla 9: Resultados de desplazamientos y derivas bloque 4. Fuente: Autoría propia.

BLOQUE 4					
Sentido X	N-S		E-W		
	Piso	1	2	1	2
qINE (cm)	5,69	8,51	3,64	5,28	
γ (%)	1,63	0,81	1,04	0,47	
Sentido Y	N-S		E-W		
	Piso	1	2	1	2
qINE (cm)	5,68	8,73	3,75	5,38	
γ (%)	1,62	0,87	1,07	0,47	

El último bloque estructural muestra mayores derivas en relación a los demás bloques, obteniendo como valor máximo un 1.63% en la componente Norte-Sur en el sentido X, valor que es aceptable de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 que especifica como máximo un 2% de deriva de piso. A continuación, un gráfico de las derivas de un bloque, el número 4, siendo este el que tiene la mayor deriva de

todos los bloques, son dos gráficos para cada componente como está explicado en la tabla 9:

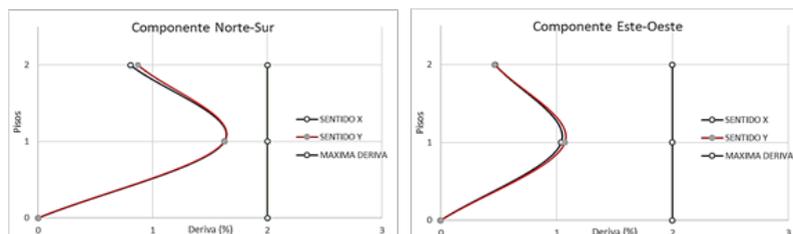


Figura 3: Resultados de derivas del bloque 4. Fuente: Autoría propia.

Resultados análisis no lineal Pushover

Bloque 1

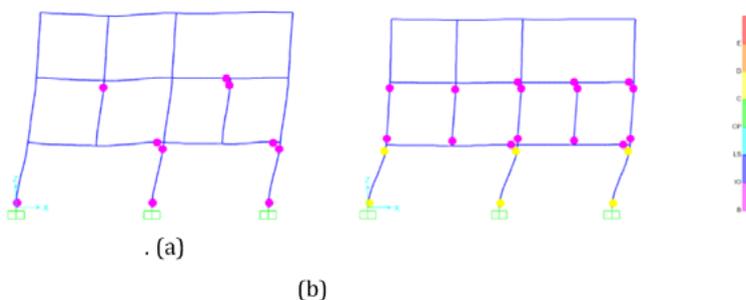


Figura 4: Rotulas plásticas; a) step2, b) step 17. Fuente: Resultados SAP 2000.

Al analizar el bloque 1 del pórtico A, al generarse el step 2 se producen las primeras rótulas plásticas, en el Step 17 estas rótulas poseen un mayor rango de esfuerzo como se muestra en la figura 4 (b).

Una vez ya conocidas las rótulas que se producen en cada elemento, se obtienen los valores de cortante basal y desplazamiento en ambas direcciones. Se grafica la curva de capacidad del primer bloque estructural, así en cada uno de los cuatro bloques en estudio.

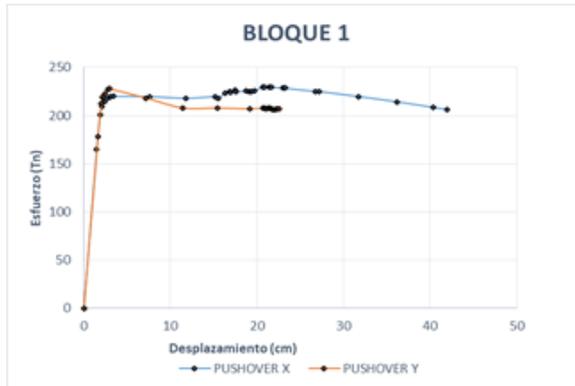


Figura 5: Curva de capacidad del bloque 1. Fuente: Autoría propia.

En el gráfico del bloque 1 (figura 5) en sentido X se encuentra que al momento en que se ejerce un cortante basal de 205,28Ton se desplaza 12,15cm el último piso de la estructura, por tanto, empieza a presentar fallas, entrando al rango no lineal de la edificación. Mientras en el sentido Y con un cortante basal de 209,22Ton se deforma la estructura 12,58cm.

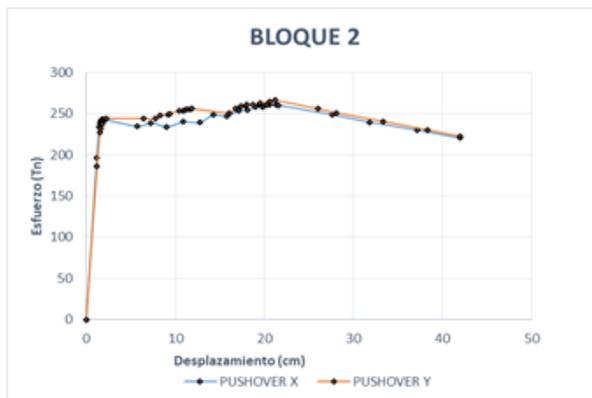


Figura 6: Curva de capacidad del bloque 2. Fuente: Autoría propia.

Para el bloque 2, el comportamiento no lineal en dirección X se produce cuando se ejerce un esfuerzo de 238,42Tn deformándose 7,42cm creando las primeras fallas, mientras que para el sentido Y cuando se asigna un esfuerzo de 245,15Tn se deforma 7,93cm presentando las primeras fluencia del acero en la edificación.

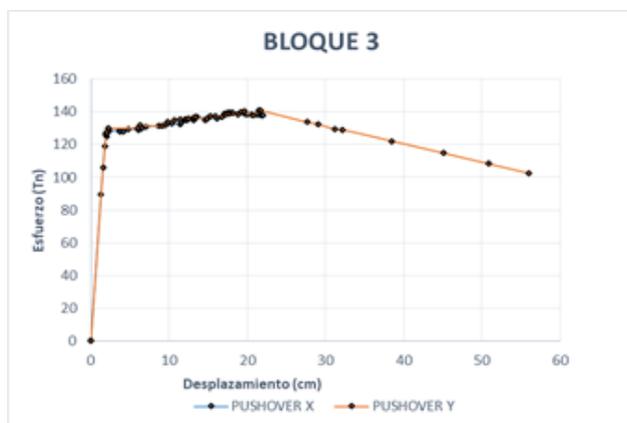


Figura 7: Curva de capacidad del bloque 3. Fuente: Autoría propia.

Los resultados del bloque 3 (figura 7) a pesar de poseer un piso Curva de capacidad del bloque 3, a diferencia de los dos anteriores, muestran para el sentido X un desplazamiento de 9,16cm cuando se ejerce un cortante basal de 130,03Ton, para el sentido Y se desplaza 9,90cm con un cortante basal de 133,84Ton, que será cuando el acero empiece a fluir. Se puede observar que no hay mucha variación en sus resultados debido a que es el bloque estructural más regular tanto en planta como en elevación.

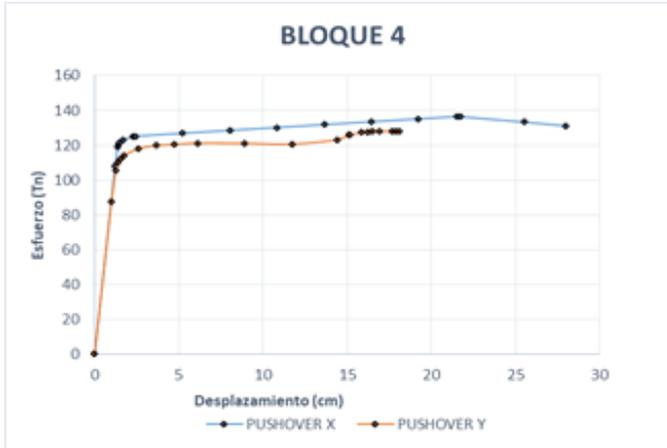


Figura 8: Curva de capacidad del bloque 4. Fuente: Autoría propia.

En el análisis no lineal del bloque 4 a pesar de estar constituido por solo dos pisos en parte de la edificación, muestra un diagrama en un desplazamiento de 8,31cm producto de un cortante basal de 128,74Tn que genera los primeros fallos estructurales en sentido X, mientras que para el sentido Y se presenta en un desplazamiento de 7,44cm y un cortante basal de 121,09Tn. Estos resultados están en función al mayor número de columnas que existen en los pórticos, a diferencia de los bloques anteriores.

Conclusiones

Mediante el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. En el análisis dinámico modal espectral los periodos de vibración superan el valor estimado según el 0,11 por el número de pisos, siendo el bloque 4 el de mayor afectación con un periodo de 0.76sg, esto determina que los bloques estructurales tienen un comportamiento altamente flexible.

2. Las derivas de piso para el análisis modal espectral muestran como mayor valor de deriva en el bloque 3 con un 1.23% que de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción en unas estructuras compuestas de hormigón armado no deben superar el 2%. Existió una limitación de software de CEINCI-LAB, por lo tanto, se completaron algunas secciones de los pórticos para hacerlos lo más simétricos posibles.

3. En el análisis lineal tiempo – historia, los resultados mostraron mayores derivas con el acelerograma de Manta, obteniendo resultados más cercanos de la realidad. A pesar de esto se obtienen valores aceptables con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, siendo la mayor deriva 1,63% en el bloque 4 analizado en el sentido X de la componente norte-sur.

4. En el análisis no lineal Pushover, la curva de capacidad muestra como los bloques estructurales van perdiendo su rigidez a medida que aumenta la deformación o ductilidad del elemento, debido a que estos disipan la energía que producen los esfuerzos. Teniendo como resultado que el bloque con más carga lateral para llegar al colapso es el segundo, con un cortante basal de 238,42 Ton produciendo un desplazamiento de 7,42 cm. Para el bloque 4 con un menor cortante basal de 128,74 Ton genera un desplazamiento mayor que el anterior siendo 8,31cm y el bloque con mayor desplazamiento es el bloque 1 con 12,15 cm al aplicarle una fuerza lateral de 205,28 Ton. Mediante estos resultados se estima que el bloque 4 el más susceptible de todos.

5. El comportamiento estructural de los bloques de la derrocada Facultad de Administración de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí muestra que, para obtener un correcto funcionamiento en una estructura de hormigón armado, se debe tener especial cuidado en el diseño de las uniones de columnas y vigas.

6. Los análisis realizados en los cuatro bloques estructurales muestran un comportamiento aceptable en las derivas de piso y en la

curva de capacidad, obteniendo un buen desempeño estructural, a pesar de considerarse muy flexible. Aun así la Facultad de Administración se vio afectada por el suelo existente a su alrededor, ya que el terremoto del 16 de abril de 2016 generó un desplazamiento lateral de la estructura, producto de este movimiento del suelo las juntas de construcción dejaron de ser paralelas.

Bibliografía

- Aguiar, R. (2003). *Análisis sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas*. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Editorial ESPE.
- Arévalo, V., Cruz, Z. (2005). *“Evaluación de los resultados del método Modal Pushover Analysis en edificios estructurados con muros”*. Depto. Ingeniería Estructural y Geotécnica, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Espinosa Cazarín (2009). *Obtención de la Curva de Capacidad para un Marco Plano de concreto Armado Mediante un Análisis Estático No Lineal*. (Tesis de grado). Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Región Veracruz.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, FEMA 356.
- FEMA 440. (2005). *“Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”*. Estados Unidos Federal Emergency Management Agency.
- Genner, V. (2008). *Ingeniería Sismo Resistente*. Lima, Perú.
- Medina, S. (2008). *Estudio del Pushover como herramienta para la determinación del Desempeño Sísmico de Pórticos Tridimensionales*. (Tesis posgrado)
- Moehle, J. P. (1991). “Displacement design approach for reinforced

- concrete structures subjected to earthquakes”, Reporte No. UCB/EERC-91/02, Universidad de California en Berkeley.
- Mora, D., Aguiar, R. (2015). Modelación de diagrama momento-curvatura y momento-rotación en secciones de acero estructural, *Revista Ciencia*, 17 (1), 99-124.
- Sánchez-Badillo, A. (2005). *Diseño por desempeño de marcos de concreto reforzado, de mediana y gran altura ubicados en la Zona del Lago del Distrito Federal*. (Tesis posgrado). División de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAM-AZCAPOTZALCO.
- Sandoval Ballarte, J. (2002). *Análisis Dinámico Estructural Comparativo (Modal Espectral vs Tiempo-Historia) de una Edificación de Hormigón Armado*. Lima-Perú: Editorial ICG.
- Terán-Gilmore, A., Jirsa, J. O. (2003). Un modelo simple para predecir la ocurrencia de fatiga de bajo número de ciclos. Memorias XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León.
- Terán-Gilmore, A., Espinoza-Johnson, M. (2008). Diseño por desempeño de marcos dúctiles de concreto reforzado ubicados en la Zona del Lago del D.F.: la resistencia lateral de diseño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 78, 23-46.

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON BASE RÍGIDA VERSUS INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA CON PROPIEDADES EN SUELOS DE MANTA

Sebastián Eduardo Serrano Vizquete

Ingeniero Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Av. Circunvalación – Vía a San Mateo, Manta. (05) 2629550 / 0969707889.

sebas-edu.serra@hotmail.com

Abel Zambrano Mejía

Docente Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Av. Circunvalación – Vía a San Mateo, Manta. (05) 2629550 / 0982419123.

angel.zambrano@uleam.edu.ec

Resumen

La presente investigación estudia la diferencia que existe en la respuesta dinámica de estructuras considerando la base rígida versus la flexibilidad en la base a través de la interacción suelo-estructura, para suelos característicos de la ciudad de Manta. La caracterización se obtiene con la recopilación de la mayor cantidad de estudios geotécnicos en Manta, con diferentes perfiles de suelo (C, D y E). Por la cantidad de estudios disponibles para esta investigación destaca los sectores del barrio Elegolé con suelo perfil tipo D, los barrios Jocay y Miraflores con suelo perfil tipo E, y otros sectores de la ciudad con suelos tipo C. Se analiza tres estructuras ya establecidas por el método estático y dinámico en el programa ETABS, ante diferentes condiciones, dependiendo de suelo y tipo de restricción en la base.

Para las tres estructuras se consideró un análisis con empotramiento perfecto en la base, y otro tomando en cuenta el modelo de Winkler, para

la interacción suelo-estructura, usando los valores del coeficiente de balasto calculados para los diferentes perfiles de suelo (perfil C, D y E).

Los parámetros estudiados fueron las variaciones en derivas, periodos de vibración, desplazamientos, tomando en consideración la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, como resultado se obtiene que mediante el modelo interacción suelo estructura, las estructuras sufren incremento en su comportamiento dinámico.

Palabras clave: Análisis estructural, perfiles de suelo, interacción suelo estructura, módulo de balasto, modelo de Winkler.

ANALYSIS OF STRUCTURES WITH RIGID BASE VERSUS SOIL-STRUCTURE INTERACTION WITH PROPERTIES IN MANTA SOILS

Abstract

The present investigation studies the difference that exists in the dynamic response of structures considering the rigid base versus the flexibility in the base through the soil-structure interaction, for characteristic soils of the city of Manta. The characterization is obtained with the compilation of the largest amount of geotechnical studies in Manta, with different soil profiles (C, D and E). For the number of studies available for this research, the sectors of the Elegolé neighborhood with type D profile soil, the Jocay and Miraflores neighborhoods with type E soil, and other sectors of the city with type C soils are analyzed. Three structures already established by the static and dynamic method in the ETABS program, given different scenarios in terms of soil type and type of restriction in the base. For the three structures, an analysis with perfect embedment at the base was considered, and another one taking into account the Winkler model, for the soil-structure interaction, using the ballast module values calculated for the different soil profiles (profile C, D and E). The parameters studied were variations in drifts, periods of vibration,

displacements, taking into account the Ecuadorian Standard of Construction NEC-2015, as a result it is obtained that through the interaction structure soil structure, the structures suffer an increase in their dynamic behavior. Keywords: Structural analysis, soil profiles, soil structure interaction, ballast module, Winkler model.

Keywords: Structural analysis, soil profiles, interaction soil-structure, modulus of subgrade reaction, Winkler method.

Introducción

La presente investigación parte del estudio en el barrio Elegolé, los barrios Jocay y Miraflores y varias zonas de la ciudad de Manta en donde se logran encontrar tres perfiles de suelo diferentes, tipo C, D y E respectivamente; en los cuales se analizan tres estructuras morfológicamente diferentes, tomando en cuenta la base empotrada y se comparan resultados mediante el Modelo dinámico de Winkler.

El **problema** notado es que gran parte del diseño de estructuras en nuestro país se realizan bajo la consideración de base rígida (empotramiento perfecto), sin considerar las propiedades mecánicas de los suelos y las cimentaciones, las cuales afectan el desempeño sísmico de la estructura. Una solución a esta problemática es la elaboración de metodologías de cálculo sísmico de edificaciones, considerando la interacción real del suelo y la estructura.

Mediante el problema mencionado se basa la **hipótesis**:

“El estudio de las propiedades mecánicas de los suelos es relevante para un correcto análisis y diseño de estructuras sismorresistentes ya que al analizar una estructura tomando el suelo-cimentación-superestructura tiene un comportamiento distinto, debido a que existe un incremento del periodo fundamental y modos de vibración de la estructura, aumento de los desplazamientos y por lo tanto derivas de la misma”.

Hoy en día resulta posible realizar este tipo de análisis debido a los

softwares existentes en el medio.

El **objetivo general** de la investigación es realizar el análisis de tres estructuras de hormigón armado con una base rígida; y comparar los resultados con el sistema interacción suelo-estructura, tomando en cuenta las características de tres perfiles de suelo diferentes, tipo C, D y E mediante la aplicación del software estructural ETABS.

Para cumplir con este propósito se deben seguir los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las capacidades portantes y propiedades mecánicas de tres perfiles de suelos en la ciudad de Manta.
- Definir tres bloques estructuras aporticadas de hormigón armado en la ciudad de Manta para compararlos.
- Realizar el análisis estructural de las edificaciones considerando el sistema base rígida aplicando la NEC 15.
- Obtener los módulos de balasto, dependiendo las capacidades portantes de los tipos de suelo estudiados, para realizar el análisis interacción suelo-estructura, mediante el modelo dinámico de Winkler.
- Analizar los resultados de las tres estructuras tomando en cuenta la base rígida versus la interacción suelo estructura.
- Análisis de estructuras tomando en cuenta la Interacción Suelo – Estructura.

El análisis de ISE toma en cuenta las propiedades del suelo, se entiende que el mismo no es del todo rígido, debido a que se encarga de transmitir y absorber cierta energía que proviene del sismo, por lo cual no es lo ideal que se considere un empotramiento perfecto de la estructura.

Según Miranda (2005) algunos de los factores de los que depende el grado de interacción que puede existir en la respuesta sísmica de una estructura son:

- Peso total de la estructura
- Rigidez lateral de la estructura
- Altura de la estructura
- Tipo de cimentación
- Profundidad y estratigrafía del suelo
- Intensidad del movimiento sísmico

Modelos de interacción suelo-estructura

Existen varios métodos para realizar el análisis de Interacción suelo estructura, cada una de ellas fundamentada en diferentes teorías a lo largo del tiempo, algunas toman en cuenta factores de rigidez del suelo; como son el método de DD. Barkan – O.A. SAVINOV, un modelo teórico-experimental, basado en la forma con la que interactúa la cimentación con la base de la fundación en forma de un proceso establecido de vibraciones forzadas. (Villarreal, 2009)

Otro de los métodos más utilizados es el modelo dinámico de Winkler.

Modelo dinámico de Winkler

Es uno de los métodos de cálculo más utilizados a la hora de considerar la interacción suelo-estructura, que parte de la hipótesis que el asiento producido en un punto es directamente proporcional a la presión a la que está sometido el terreno, transmitida por la cimentación. (Freire, 2000)

Supone al suelo como un equivalente a un número infinito de resortes elásticos, la cual tendrá una rigidez que se denomina módulo de balasto (K_s)

Ventajas del módulo de Winkler

- Resulta ser una metodología sencilla para entender el método de la interacción suelo estructura, ya que sus expresiones matemáticas son simples.

- Se lo puede aplicar en cimentaciones superficiales, profundas, vigas, pilotes y diferentes elementos estructurales.
- No se necesitan tomar tantos parámetros como en otros modelos numéricos. (Arenas, 2007)

Lugares designados para el estudio

Según Serrano (2018) los lugares designados para el proyecto han sido el barrio Elegolé con perfil de suelo tipo D; El barrio Jocay y Miraflores unificándolos con perfil tipo E; la razón por la cual se han tomado estos barrios es debido a la cantidad de estudios geotécnicos obtenidos. Además, se cuenta con un perfil de suelo tipo C en varios sectores de la ciudad de Manta por lo cual se decide agruparlos y presentarlos como una recopilación.

En cada uno de los estudios se hicieron perforaciones a profundidades que van desde los 5 hasta los 8 metros, en los cuales se realizaron ensayos de penetración estándar SPT, a cada metro de profundidad.

En los muestreos se recuperan muestras de suelo respectiva que fueron sometida a ensayos clasificatorios en el laboratorio, a partir de las propiedades índices (humedad natural, granulometría, y límites de Atterberg), y así se determina el tipo de suelo existente.

A continuación, se realiza un análisis de algunos estudios en los diferentes sectores delimitados para el análisis para entender mejor las estratigrafías que existen en estas localidades.

Miraflores y Jocay (Perfil E)

En la zona de Miraflores y Jocay se recopilaron alrededor de 9 estudios geotécnicos en los que se realizaron entre 2 y 3 perforaciones por estudio, las capacidades portantes encontradas son relativamente bajas.

Se puede visualizar que las capacidades portantes en este sector son relativamente bajos obteniendo una media de $9,18 \text{ T/m}^2$, por lo cual

el ingeniero geotécnico sugiere que la cimentación a utilizar en estos casos sea de zapatas corridas en dos direcciones, para que la estructura tenga mayor estabilidad. También ha considerado en todos los suelos un perfil tipo E para el diseño sísmico de las estructuras y la zona sísmica en toda la provincia de Manabí será la VI, la más alta según la NEC-15, en su capítulo de Diseño Sísmico (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 1: Media de las capacidades portantes, obtenida de los estudios geológicos, Miraflores y Jocay. Fuente: Autoría Propia

MIRAFLORES Y JOCAY					
	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE q_a		PERFIL TIPO DE SUELO	ZONA SISMICA	
	Kg/cm^2	Tn/m^2			
ESTUDIO 1	0,81	8,1	E	VI	
ESTUDIO 2	0,95	9,5	E	VI	
ESTUDIO 3	0,745	7,45	E	VI	
ESTUDIO 4	0,805	8,05	E	VI	
ESTUDIO 5	0,821	8,21	E	VI	
ESTUDIO 6	1,471	14,71	E	VI	
ESTUDIO 7	1,02	10,2	E	VI	
ESTUDIO 8	0,79	7,9	E	VI	
ESTUDIO 9	0,85	8,5	E	VI	
	0,918	9,18			

Elegolé (Perfil D)

En el barrio Elegolé se obtuvieron 6 estudios geotécnicos de los cuales 3 fueron manzanas completas para un conjunto habitacional en donde se realizaron entre 5 y 7 perforaciones en cada estudio, y aparte 3 estudios más con 2 perforaciones cada uno para viviendas de dos niveles.

A diferencia del otro sector se puede notar que las capacidades portantes suben considerablemente a $16.212 T/m^2$, mediante lo cual se deduce que el tipo de perfil de suelo va a ser mejor y en efecto predomina el

perfil tipo D, el cual será el perfil de suelo considerado para este estudio.

Tabla 2: Media de las capacidades portantes, obtenida de los estudios geológicos, Barrio Elegolé Fuente: Autoría Propia

ELEGOLE				
	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE q_a		PERFIL TIPO DE SUELO	ZONA SISMICA
	<i>Kg/cm²</i>	<i>Tn/m²</i>		
ESTUDIO 1	1,82	18,2	D	VI
ESTUDIO 2	0,97	9,7	E	VI
ESTUDIO 3	1,755	17,55	D	VI
ESTUDIO 4	1,711	17,11	D	VI
ESTUDIO 5	1,85	18,5	D	VI
	1,621	16,212		

Otros sectores (Perfil Tipo C)

Se han buscado varios perfiles tipo C alrededor de toda la ciudad de Manta, con el fin de poder sacar una media de sus capacidades y tener otro perfil con el cual se pueda diseñar las estructuras tomando en cuenta la Interacción Suelo Estructura (ISE), para ver las diferencias que se tienen en los valores dependiendo el suelo.

Se han analizado alrededor de 13 estudios geotécnicos a lo largo de toda la ciudad, ya que no fue posible encontrar varios perfiles tipo C sector específico. La media de las capacidades portantes de todos los estudios fue de 18.162 T/m² como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3: Media de las Capacidades Portantes del Perfil C en varios sectores de la ciudad de Manta. Fuente: Autoría Propia

PERFIL C EN SECTORES DE MANTA				
UBICACIÓN	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE qa		PERFIL TIPO DE SUELO	ZONA SISMICA
	Kg/cm²	Tn/m²		
Urbanización Fragata	1,83	18,28	C	VI
Barrio Epoca AV 42	1,80	18,02	C	VI
Barrio Victoria Av 110	1,76	17,58	C	VI
Ciudadela Universitaria	1,80	18,02	C	VI
Ciudadela Universitaria	1,80	18	C	VI
Mazato Av 210	1,75	17,48	C	VI
Mazato Av 210	1,79	17,88	C	VI
Mezato Av216	1,75	17,5	C	VI
Ciudad del Mar	1,83	18,32	C	VI
Ciudad del Mar	1,90	19	C	VI
Manta Beach	1,89	18,92	C	VI
Los Gavilanes	1,87	18,68	C	VI
Los Esteros	1,84	18,42	C	VI
	1,816	18,162		

Cálculo del módulo de balasto para las zonas de investigación

Realizado el análisis de los perfiles de suelo a investigar, se procede a calcular el Módulo de Balasto que será utilizado para los cálculos de la estructura tomando ISE (Interacción Suelo Estructura).

Para esta investigación como se tiene de las capacidades portantes o admisibles para cada perfil (C, D, E), se opta por tomar el coeficiente de balasto presentado por el Ing. Nelson Morrison brindado en su Tesis de maestría “Interacción Suelo-Estructuras: Semi-espacio de Winkler”. (Morrison, 1995)

En la tabla 4 se muestran los módulos de balasto con los cuales se va a trabajar en las diferentes estructuras analizadas, tomando en cuenta la interacción suelo-estructura (ISE).

Tabla 4: Módulo de Balasto para los distintos perfiles de suelo de la investigación. Fuente: Autoría Propia

PERFIL	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE		MODULO DE BALASTO
	Kg/cm^2	Tn/m^2	Kg/cm^3
C	1,816	18,162	3,64
D	1,621	16,212	3,28
E	0,918	9,18	2,02

Análisis y descripción de las estructuras

Se utilizará el programa ETABS 9.7.4 para el modelamiento de las estructuras con sistema de base rígida, así como también para el análisis con interacción suelo - estructura por el método de Winkler. Para los dos casos se realizará un análisis estático y un análisis modal espectral dependiendo el tipo de perfil de suelo de se tiene (C, D, E).

Estructura I

Tabla 5: Descripción de Estructura I. Fuente: Autoría Propia

ESTRUCTURA I			
PISO 2	5,7 m	VIGAS	50X25 cm
		COLUMNAS	30X30 cm
PISO 1	3 m	VIGAS	50X50 cm
		COLUMNAS	30X30 cm
CIMENTACION			1,50 x 1,50 m
		ZAPATAS AISLADAS	1,40 x 1,40 m
			1,25 x 1,25 m

Estructura II

Tabla 6: Descripción de Estructura II. Fuente: Autoría Propia

ESTRUCTURA II			
TAPAGRADAS	14,44 m	VIGAS	40 X 20 cm
		COLUMNAS	30 X 30 cm
PISO 4	11,6 m	VIGAS	40 X 40 cm
		COLUMNAS	30 X 30 cm
PISO 3	8,7 m	VIGAS	40 X 40 cm
		COLUMNAS	30 X 30 cm
PISO 2	5,86 m	VIGAS	40 X 40 cm
		COLUMNAS	35X35 cm
PISO 1	3 m	VIGAS	40 X 40 cm
		COLUMNAS	35 X 35 cm
CIMENTACION		ZAPATAS	1,4 X 0,6 m
		CORRIDAS	1,25 x 0,6 m

Estructura III

Tabla 7: Descripción de Estructura Fuente: Autoría Propia

ESTRUCTURA III			
PISO 3	8,6 m	VIGAS	40X20 cm
		COLUMNAS	25X25 cm
PISO 2	5,8 m	VIGAS	40X40 cm
		COLUMNAS	25X25 cm
PISO 2	3 m	VIGAS	40X40 cm
		COLUMNAS	25X25 cm
CIMENTACION		ZAPATAS AISLADAS	1,20 x 1,20 m

Resultados

Se analizan los resultados de las tres estructuras tomando en cuenta la base rígida y se los compara con el modelado de la misma tomando en cuenta la flexibilidad del suelo por el método de Winkler para generar la Interacción Suelo-Estructura.

Estructura I

Derivas

Tabla 8: Derivas Estructura I Fuente: Autoría Propia

PERFIL	ALTURA m	EMPOTRADO				ISE		
		Sx	Sx spec	Sy	Sy spec	Sx	Sx spec	Sy
C	5,7	1,75%	1,794%	1,586%	1,409%	7,08%	2,39%	5,22%
	3	1,857%	1,846%	1,734%	1,551%	10,42%	3,34%	8,01%
D	5,7	6,37%	1,31%	4,77%	1,19%	6,70%	1,28%	4,97%
	3	9,42%	1,81%	7,35%	1,75%	9,87%	1,77%	7,64%
E	5,7	4,83%	3,82%	3,62%	3,14%	5,17%	4,11%	3,84%
	3	7,13%	5,61%	5,57%	4,86%	7,59%	6,02%	5,86%

Períodos y modos de vibración

Se analizan los dos primeros modos de vibración y períodos de la estructura en los dos sentidos ya que en estas se puede notar la diferencia entre los dos métodos.

Tabla 9: Períodos y Modo de vibración Estructura I Fuente: Autoría Propia

PERFIL	MODO	EMPOTRADO			ISE		
		PERIODO	UX	UY	PERIODO	UX	UY
C	1	0,5782	85,8397	0,6429	0,6284	88,8762	0,7973
	2	0,5503	0,1809	89,3196	0,5930	0,4613	93,0707
D	1	0,5782	85,8397	0,6429	0,632	88,8762	0,7973
	2	0,5503	0,1809	89,3196	0,5959	0,4613	93,0707
E	1	0,5782	85,8397	0,6429	0,6512	88,7846	0,7999
	2	0,5503	0,1809	89,3196	0,6104	0,4693	93,4715

Se puede observar que los períodos fundamentales de la estructura con la ISE de igual manera se incrementan alrededor de un 6 al 9% ya que se considera la flexibilidad de la base en la fundación. La razón de este incremento nace en que se considera la masa de la cimentación y la flexibilidad del suelo subyacente.

Los modos de vibración en sentido x-x igual se aumentan con la ISE. Lo mismo con el sentido y-y, el incremento es del 4%.

Estructura II

Derivas

Se puede observar que en la Estructura II las derivas mayores se encuentran entre el segundo y tercer piso; al igual que en la Estructura I las derivas en la ISE aumentan, pero en este caso las derivas son menores ya que no superan el 2%. En el sentido X-X el mayor incremento que existe es en el primer piso casi con un 22% y en los otros pisos alrededor del 14%. En el sentido Y-Y el incremento es del 12 % en el primer piso y alrededor del 10 % en los pisos siguientes.

Las derivas en esta estructura no son tan altas en comparación a la Estructura I, debido a varios factores; entre ellos el tipo de cimentación que se utiliza, la cual es una zapata corrida que aporta mayor rigidez a la estructura.

Tabla 10: Derivas Estructura II Fuente: Autoría propia

PERFIL	ALTURA m	EMPOTRADO				ISE		
		Sx	Sx spec.	Sy	Sy spec.	Sx	Sx spec.	Sy
C	14,58	0,596%	0,303%	0,630%	0,414%	0,760%	0,760%	0,661%
	11,58	1,078%	0,944%	1,127%	0,722%	1,251%	1,251%	1,206%
	8,72	1,742%	1,664%	1,937%	1,230%	1,919%	1,919%	2,010%
	5,86	1,777%	1,710%	1,927%	1,235%	1,952%	1,952%	2,012%
	3	1,300%	1,225%	1,450%	0,949%	1,600%	1,600%	1,505%
D	14,58	0,554%	0,350%	0,575%	0,436%	0,732%	0,428%	0,629%
	11,58	1,010%	1,074%	1,064%	0,040%	1,197%	1,175%	1,140%
	8,72	1,646%	1,935%	1,833%	1,479%	1,831%	1,984%	1,917%
	5,86	1,606%	2,015%	1,023%	1,470%	1,062%	2,065%	1,912%
	3	1,309%	1,442%	1,372%	1,115%	1,535%	1,554%	1,508%
E	14,58	0,422%	0,258%	0,428%	0,346%	0,613%	0,378%	0,490%
	11,58	0,775%	0,845%	0,811%	0,643%	0,967%	1,035%	0,900%
	8,72	1,255%	1,521%	1,397%	1,127,000%	1,450%	1,727%	1,490%
	5,86	1,285%	1,570%	1,389%	1,127%	1,472%	1,781%	1,480%
	3	0,998%	1,122%	1,045%	0,850%	1,225%	1,366%	1,180%

Períodos y modos de vibración

Tabla 11: Períodos y Modo de vibración Estructura II Fuente: Autoría Propia

PERFIL	MODO	EMPOTRADO			ISE		
		PERIODO	UX	UY	PERIODO	UX	UY
C	1	0,7783	55,071	8,1728	0,8185	65,1564	2,75
	2	0,7536	8,1647	74,3896	0,7765	3,7666	79,8024
D	1	0,7783	55,0708	8,1728	0,8211	65,7091	2,5759
	2	0,7536	8,1646	74,3896	0,7779	3,5961	19,9559
E	1	0,7783	55,0708	8,1728	0,8359	68,6012	1,7853
	2	0,7536	8,1646	74,3896	0,7859	2,7609	80,6472

Los períodos en el análisis con base rígida en los tres tipos de perfiles son los mismos, pero tomando en cuenta la ISE varían dependiendo el perfil a analizar. Teniendo un incremento mayor en el perfil E con relación a los perfiles C y D, debido a que el suelo tiene menor resistencia y esto se refleja en el espectro. Los modos de vibración de igual manera se incrementan con la ISE en los dos sentidos X-X' y Y-Y'.

Estructura III

Derivas

Tabla 12: Derivas Estructura III Fuente: Autoría Propia

PERFIL	ALTURA m	EMPOTRADO				ISE		
		Sx	Sx spec.	Sy	Sy spec.	Sx	Sx spec.	Sy
C	8,6	6,690%	2,370%	5,010%	2,100%	7,00%	2,39%	5,22%
	5,8	9,881%	3,311%	7,711%	3,111%	10,42%	3,34%	8,01%
	3	7,200%	2,400%	6,060%	2,470%	0,52%	2,79%	6,91%
D	8,6	6,37%	1,31%	4,77%	1,19%	6,70%	1,28%	4,97%
	5,8	9,42%	1,81%	7,35%	1,75%	9,87%	1,77%	7,64%
	3	6,93%	1,36%	5,78%	1,39%	8,02%	1,48%	6,58%
E	8,6	4,83%	3,82%	3,62%	3,14%	5,17%	4,11%	3,84%
	5,8	7,13%	5,61%	5,57%	4,86%	7,59%	6,02%	5,86%
	3	5,25%	4,15%	4,37%	3,83%	6,26%	5,02%	5,11%

Al momento de realizar el análisis de la Estructura III la cual es la de mayor tiempo de construcción, se tienen resultados que pueden ser improbables y se necesita un análisis más a fondo como un Pushover o

un estudio del análisis de índice de daño.

Ya que las derivas son extremadamente altas y esto se debe a las secciones de los elementos estructurales que posee esta edificación.

Períodos y Modos De Vibración

Tabla 13: Períodos y Modo de vibración Estructura III Fuente: Autoría Propia

PERFIL	MODO	EMPOTRADO			ISE		
		PERIODO	UX	UY	PERIODO	UX	UY
C	1	1,4317	85,0979	0,0016	1,5078	88,5051	0,0001
	2	1,3264	0,0041	85,2194	1,3817	0,0006	86,5706
D	1	1,4317	85,0979	0,0016	1,4996	86,3917	0,0009
	2	1,3264	0,0041	85,2194	1,3813	0,0024	86,5856
E	1	1,4317	85,0979	0,0016	1,5178	86,5639	0,0007
	2	1,3264	0,0041	85,2194	1,3952	0,0019	86,7879

Los períodos fundamentales en esta estructura superan el 1,5seg analizando la interacción suelo-estructura, esto debido a la falta de rigidez que tiene la misma, ya que sus elementos estructurales no cumplen con el análisis respectivo.

Conclusiones

Se analizaron tres estructuras en general, a cada una de estas estructuras se le realizó un análisis tomando la base rígida y se comparó sus resultados tomando al suelo como parte del análisis mediante interacción suelo-estructura por el método de Winkler, considerando las propiedades mecánicas y capacidades portantes de tres perfiles de suelo distintos en Manta (C, D y E).

1. En la presente investigación se recopilaron estudios geotécnicos en varias zonas de la ciudad, el perfil con mayor resistencia que se obtuvo fue tipo C. Este tipo de perfil resulta difícil encontrar en una zona específica de la ciudad, la capacidad portante media obtenida para este

perfil es de $18,16 \text{ Tn/m}^2$.

2. En la zona del barrio Elegolé se encuentra un perfil de suelo tipo D que tiene una capacidad portante media de $14,75 \text{ Tn/m}^2$.

3. En El barrio Jocay y Miraflores se obtiene un perfil de suelo tipo E, relativamente bajo con una capacidad portante media de $9,18 \text{ Tn/m}^2$, en el cual predomina una arena arcillosa con alto índice de nivel freático entre los dos y tres metros de profundidad.

4. La Estructura I analizando mediante la ISE supera el 2% permitido por la NEC-15.

5. La Estructura II tiene un incremento del 22% en los primeros pisos y del 14% en los dos últimos pisos.

6. El incremento en los modos de vibración de la Estructura I es del 11% analizando el método de ISE.

7. El incremento en los modos de vibración de la Estructura II es del 8% analizando el método de ISE

8. El incremento en los modos de vibración de la Estructura III es del 5% analizando el método de ISE.

9. Los periodos fundamentales mayores se encuentran en la Estructura III, sobrepasando 1,5 s.

10. Al obtener resultados que evalúan las hipótesis de la investigación planteadas al inicio de este trabajo se concluye que son verdaderas.

11. El análisis de interacción suelo-estructura se resume en el cálculo de coeficientes de rigidez equivalentes del dulo, los cuales están en función de las características de la estructura, el suelo y de las características geométricas de la cimentación.

12. Las estructuras que están asentadas en cimientos de mayor rigidez, tienen menores desplazamientos que una estructura con cimentaciones más simples como son los plintos aislados.

13. En estructuras que están cimentadas en un macizo rocoso o suelos con estratos duros se podría omitir el análisis de interacción

suelo-estructura, a diferencia de estructuras cimentadas en suelos blandos, en los cuales es pertinente realizar el análisis de ISE.

14. El método de Winkler es aceptado para hacer un análisis de interacción suelo-estructura ya que se lo realiza tomando factores reales del suelo de una manera simple que tiene resultados factibles.

Bibliografía

- Arenas (2007). *Sistema de Cimentacion en Placa-Pilote. Análisis de Interacción Suelo Estructura para Suelos del Valle de Aburrá*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Argudo, I. J. (2016). *Efecto de Sitio y Respuesta Dinámica de Estructuras sobre suelos blandos*. Guayaquil.
- Freire, M. (2000). *Precisiones para el empleo del método del módulo de balasto en edificación*. Departamento de Tecnología de la Construcción, Universidad de la Coruña.
- Miranda, E. (2005). Conceptos básicos sobre interacción suelo-estructura.
- Morrison, N. (1995). *Interacción suelo-estructuras: semi - espacio de Winkler*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- NEC-SE-DS. (2015). *Peligro Sísmico*. Norma Ecuatoriana de la Construcción. MIDUVI, Dirección de Comunicación Social.
- Serrano, S. (2018). *Análisis de estructuras de hormigón armado, mediante una caracterización de los suelos en diferentes zonas de la ciudad de Manta*. (Tesis de grado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Valle, A. (2016). Metodología de Reparación de Fallas Constructivas evidenciadas en Manabí tras Terremoto Pedernales del 16 de Abril de 2016 con Intensidad 7.8 en la escala de Richter.
- Villarreal, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Lima-Perú.

ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO-ESTRUCTURAL DE REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO RESIDENCIA ALFARO AFECTADO POR EL TERREMOTO DEL 16A

Yuri Mauricio Rodríguez Andrade

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n, Vía a San Mateo, +593 99 986 9735, ing.yurirodriguez@uleam.edu.ec

Simón Ávila Vera

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n, Vía a San Mateo, +593 98 403 9342, ingesimon@hotmail.com

Karen Paola Velásquez Pinargote

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n, Vía a San Mateo, +593 99 551 0063, karpaovelpi@gmail.com

Pamela Edelviz Mendoza Palma

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n, Vía a San Mateo, +593 95 919 2652, pemp_mendoza@hotmail.com

Resumen

La presencia de un terremoto de magnitud 7.8 grados, en la escala Richter, con epicentro en Pedernales, Ecuador, provocó pérdidas de vidas humanas y daños materiales en varios cantones de las provincias de Manabí y Esmeraldas, el 16 de abril de 2016. El Edificio “Residencia Alfaro” de la ciudad de Manta, fue una de las estructuras afectadas por el terremoto del 16A, por lo que el objetivo de la investigación se enfocó hacia la evaluación de dos propuestas de reforzamiento estructural valoradas mediante un análisis económico - estructural para rehabilitarlo. En la inspección visual hecha a la estructura mencionada se observaron las fallas que sufrió por el movimiento sísmico. Se procedió a efectuar

ensayos de laboratorio destructivos y no destructivos a los elementos de hormigón armado, dando como resultados una resistencia a la compresión promedio de 100 Kg/cm² y una ausencia de carbonatación del hormigón. La estructura de 5 niveles con 1040 m² de construcción se modeló en su estado actual, comprobándose el incumplimiento de las normas vigentes de construcción. Se propusieron dos tipos de reforzamiento, para lograr la rehabilitación de la estructura, los cuales se verificaron mediante la aplicación de un software. Los resultados obtenidos indicaron que las derivas de piso, periodos y modos de vibración obtenidos cumplieron con los requerimientos estipulados en la Norma Ecuatoriana de Construcción 2015. De los dos tipos de reforzamiento aplicados, se demostró que el realizado con muros de corte resultó tener un costo más bajo que el propuesto con ensanchamiento de columnas.

Palabras claves: Terremoto, reforzamiento estructural, derivas, periodo de vibración, modo de vibración.

COMPARATIVE ECONOMIC-STRUCTURAL ANALYSIS OF REINFORCEMENT OF THE ALFARO RESIDENCE BUILDING AFFECTED BY THE 16A EARTHQUAKE

Abstract

The presence of an earthquake of 7.8 degrees in magnitude, on the Richter scale, with epicenter in Pedernales, Ecuador, caused loss of human lives and material damage in several cantons of the provinces of Manabí and Esmeraldas, on April 16, 2016. The "Residencia Alfaro" Building in the city of Manta was one of the structures affected by the 16A earthquake, so the objective of the research was focused on the evaluation of two proposed structural reinforcement valued by an economic - structural analysis to rehabilitate it. In the visual inspection made to the aforementioned structure, the faults suffered by the seismic

movement were observed. We proceeded to perform destructive and non-destructive laboratory tests on the reinforced concrete elements, resulting in an average compressive strength of 100 Kg / cm² and an absence of carbonation of the concrete. The structure of 5 levels with 1040 m² of construction was modeled in its current state, verifying the non-compliance with the current construction standards.

Two types of reinforcement were proposed to achieve the rehabilitation of the structure, which were verified through the application of software. The results obtained indicated that the floor drifts, periods and vibration modes obtained met the requirements stipulated in the 2015 Ecuadorian Construction Standard. Of the two types of reinforcement applied, it was demonstrated that the one made with cutting walls turned out to have a lower cost than the one proposed with widening of columns.

Keywords: Earthquake, structural reinforcement, drifts, vibration period, vibration mode.

Introducción

Antecedentes

“El Ecuador al encontrarse dentro del denominado Cinturón de fuego del Pacífico tiene una alta actividad sísmica especialmente en su zona costera y gran parte de la Región Interandina; los sismos en el Ecuador son debido a la subducción de la placa de Nazca en la Sudamérica y es la principal fuente de generación de sismos tectónicos; a esto se suman los sismos que se generan por la activación de fallas geológicas locales” (Catota, 2016, p.1).

El 16 de abril de 2016 en Pedernales, provincia de Manabí se registró un evento sísmico de alta magnitud, 7.8 grados en la escala de Richter. Este terremoto dejó a su paso al descubierto muchas de las falencias de construcción, por tal razón varias edificaciones sufrieron colapsos parciales o totales. En la Figura 1 observamos un edificio colapsado en

la ciudad de Manta.



Figura 1: Edificio C.C Adrianita, Tarqui-Manta. Fuente: www.bbc.com

Planteamiento del problema

En la ciudad de Manta, debido al terremoto del 16 de abril de 2016, un edificio ubicado en la parroquia Manta, denominado “Residencia Alfaro”, sufrió daños estructurales y no estructurales, sin llegar al colapso, por lo tanto, surge la necesidad de rehabilitarlo buscando la mejor solución económica-estructural de reforzamiento para que cumpla con los requerimientos sismorresistentes de la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente, NEC 2015.

Justificación

Considerando que el Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alta amenaza sísmica, y en especial la costa ecuatoriana en donde se encuentra la ciudad de Manta, se hace necesario crear una cultura de prevención ante este tipo de desastres naturales.

De acuerdo con el Ing. Roberto Aguiar, PhD. y el Ing. Fernando de Castillo, docentes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, “La

Ingeniería Sísmica se soporta en tres pilares que son: el sismo, el suelo en el que se encuentra la edificación y la concepción estructural”. (Aguiar y De Castillo, 2016)

La informalidad en las construcciones de edificaciones de baja altura aún prevalece en nuestra cultura. Los propietarios de terrenos contratan a los profesionales para lograr la aprobación municipal de planos, pero luego es común encontrar casos en los que la ejecución del proyecto la realice un maestro constructor no acreditado y sin la supervisión técnica pertinente. La consecuencia de esta decisión es muy probable que termine en la obtención de una estructura con alta vulnerabilidad sísmica, poniendo en riesgo a sus ocupantes y a la sociedad.

Un estudio de reforzamiento para una estructura que no colapsó ante la fuerza de un sismo es la mejor alternativa que se puede tomar antes de pensar en la demolición de esta. En el caso del edificio “Residencia Alfaro”, luego de realizar la evaluación visual rápida se determinó que era procedente realizar un análisis estructural detallado y generar propuestas de reforzamiento con la finalidad de rehabilitarlo.

Objetivo

Evaluar qué propuesta de reforzamiento es la más apropiada para el edificio “Residencia Alfaro”, mediante la realización de un análisis comparativo económico – estructural.

Desarrollo

Concepciones teóricas sobre sismos y reforzamiento de estructuras

“Los sismos se originan debido a la liberación de energía acumulada que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan en todas direcciones. La energía liberada se desplaza a través de la tierra en forma de ondas, a partir de la inestabilidad que es producida mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas como consecuencia de

actividades volcánicas, movimientos de ladera, hundimiento de cavernas, variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones e incluso la actividad humana”. (Russell, 2010)

“La vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de determinadas características es una propiedad intrínseca de cada estructura y, por tanto, independiente de la peligrosidad del emplazamiento. Esto quiere decir que una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo si se encuentra en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica”. (Barbat, Oller, y Vielma, 2005, p.4)

“El concepto de riesgo sísmico está siempre relacionado con la predicción de pérdidas futuras y está íntimamente ligado a la psicología personal o colectiva, razón por la que, obviamente, es difícil darle objetividad. Por este motivo es tan compleja la evaluación del riesgo, aun cuando se trate solamente de su dimensión física”. (Barbat, Oller, y Vielma, 2005, p.9)

La sismicidad en el Ecuador se relaciona con la geodinámica, donde interactúan tres placas tectónicas: la placa oceánica de Nazca, la Placa Continental Sudamericana y el Bloque Norandino. La actividad sísmica en el Ecuador en los últimos 460 años ha ocasionado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra y escenarios de alta sismicidad evaluados en Esmeraldas, Manabí, Quito, Guayaquil y Cuenca, lo que muestra la gran necesidad por emprender programas para la mitigación del riesgo sísmico.

Ecuador en su mayor extensión territorial se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, dentro del cual la zona costera presenta la mayor peligrosidad.

Una evaluación rápida busca identificar y clasificar los daños de una estructura después de un sismo. La rehabilitación de las estructuras tiene como fin el restablecer su funcionalidad, por medio de reparación de los daños y/o el reforzamiento de los elementos estructurales. El procedimiento que generalmente se sigue para la rehabilitación de las

edificaciones de hormigón post-sismo es el siguiente:

1. Evaluación de los daños estructurales y no estructurales de la estructura, registrando los detalles en planos.
2. Análisis de la estructura antes del sismo mediante el uso de software especializado.
3. Mediante el análisis en el software determinar fallas estructurales como columnas cortas, excentricidad, sección de elementos estructurales insuficientes, elementos sin área de acero de refuerzo necesaria.
4. Comparar los daños de los observados en la inspección con los resultados del análisis estructural, elaborar un diagnóstico de las fallas presentadas y establecer si la edificación cumplía con las normas sísmicas vigentes.
5. Análisis de las alternativas de reforzamiento.
6. Diseño de la reparación y rehabilitación.

Materiales y ensayos

Ensayo con esclerómetro Silver Schmidt: “(Medidor de durezas): también conocido como martillo suizo, martillo Schmidt, ya que fue patentado por esa casa en 1950. Su valor de rebote “R” permite medir la dureza del material. Los Esclerómetros se han convertido en el procedimiento más utilizado, a nivel mundial, para el control no destructivo en hormigón”. (RIEMAT, 2010)

Ensayo de extracción de núcleos sometidos a compresión: “Este método de ensayo brinda procedimientos estandarizados para obtener y ensayar especímenes para determinar la resistencia a la compresión, a la tracción indirecta y a la flexión de concreto colocado”. (ASTM International)

Ensayo de Carbonatación “test de la fenolftaleína”: “La Fenolftaleína se utiliza para realizar muchas pruebas y análisis, ya que su propiedad primaria es la de cambiar de color en función del PH del elemento al que se le aplica. Es muy útil para detectar la profundidad de carbonatación

del concreto en las construcciones”. (RIEMAT, 2010)

Estudio de suelo: “En función de los resultados obtenidos en campo y laboratorio, se emite un análisis de tipo cuantitativo y cualitativo que permitirá construir una matriz del comportamiento geotécnico del sitio”. (Zigurta Global Institute of Technology. 2017)

Modelo matemático: “Por modelado definiremos al proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida. Por ello este proceso conlleva a la toma de decisiones respecto a los siguientes aspectos: La geometría de la estructura, las propiedades de los materiales que la constituyen, la magnitud y ubicación de cargas permanentes y variables, los tipos de elementos que la pueden representar con mayor fidelidad (1, 2 ó 3 dimensiones), las conexiones internas entre estos elementos, los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio circundante”. (Gómez, 2012)

Resultados y discusión

Levantamiento de información

El Edificio “*Residencia Alfaro*” está ubicado en el Tramo 1 de la Vía Circunvalación en la parroquia Manta del cantón Manta, provincia de Manabí, localizado a 60 metros de la puerta N.º 2 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Véase la Figura 2.

El edificio corresponde a una estructura de hormigón armado construida en el año 2011, catalogada como construcción relativamente nueva e implantada en un terreno de 808 m², el área total de construcción aproximada de 1040 m², comprendidos en 5 niveles (1 subsuelo, planta baja y 3 niveles superiores). Cuenta con una escalera independiente. Su uso era residencial, excepto el nivel de planta baja en el cual su uso era comercial. En la actualidad se encuentra inhabitada.

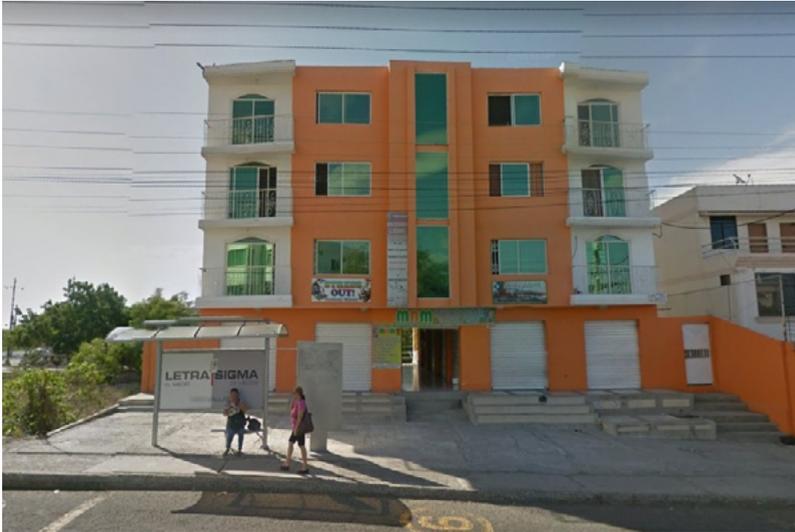


Figura 2: Edificio Residencia Alfaro. Fuente: Google Earth

La estructura posee mampostería con bloques livianos de 15 cm para las paredes exteriores y de 10 cm para las paredes interiores. Los planos estructurales del edificio indicaban vigas peraltadas para todos los niveles de piso, pero en la realidad solo se observan vigas bandas en los niveles subsuelo, planta baja, piso 1 y 2, y losas alivianadas de 20cm de espesor, mientras que en el tercer nivel las vigas son de sección 20x20 con un sistema llamado eurolosa que son placas de fibra-cemento apoyado en perfiles metálicos y una capa de compresión de hormigón

con malla electrosoldada.

Geometría de la edificación

El edificio presenta simetría en su estructura, en la Tabla 1 se detallan las secciones de las columnas y vigas por piso junto con la armadura de refuerzo en cada una de ellas respectivamente. En la última columna de esta misma tabla se detallan las alturas de entrepiso.

Tabla 1: Secciones y armaduras de vigas y columnas, y alturas de entrepiso
Fuente: Los autores

NIVEL	VIGAS		COLUMNAS		ALTURAS DE ENTREPISO (m)
	Sección (cm ²)	Armadura	Sección (cm ²)	Armadura	
SUBSUELO	35 x 20	3 ϕ 14mm 3 ϕ 16mm	30 x 30	8 ϕ 16mm	2.65
PLANTA BAJA	25 x 20	3 ϕ 12mm 3 ϕ 14mm	30 x 30	8 ϕ 16mm	2.95
PRIMER PISO	25 x 20	3 ϕ 12mm 3 ϕ 14mm	30 x 30	8 ϕ 16mm	2.55
SEGUNDO PISO	25 x 20	3 ϕ 12mm 3 ϕ 14mm	30 x 30	8 ϕ 16mm	2.45
TERCER PISO	20 x 20	4 ϕ 12mm	20 x 20 30 x 30	4 ϕ 12mm	2.7

Resultado de ensayos de esclerometría

Los ensayos de esclerometría se realizaron en todas las columnas de planta baja, mientras que en los demás niveles solo se tomaron de 3 a 5 columnas ubicadas en zonas céntricas, laterales y esquineras. En cada una de las columnas se obtuvieron 9 rebotes y las resistencias obtenidas resultaron bajas, con un promedio de 100 Kg/cm², por tal motivo se optó por realizar ensayos a compresión, con la finalidad de lograr una mejor estimación de la resistencia a la compresión de los elementos estructurales.

Resultado de ensayos de extracción de núcleos

En este ensayo se tomaron muestras en dos niveles del edificio, una extracción en la PB del eje B4, en Piso 1 columna D3 y en viga en eje 4 entre ejes C Y D. En la Figura 3, podemos observar los núcleos de hormigón sometidos a ensayos de compresión para conocer su resistencia.



Figura 3: Ensayos de resistencia a la compresión de muestras de columnas y viga, Fuente: los autores

En la Tabla 2 se observa que las resistencias alcanzadas en los núcleos de las columnas son bajas, mientras que la resistencia alcanzada para el núcleo de la viga está dentro del rango permitido por la NEC 2015: “Se usarán los siguientes valores de resistencia especificada a la compresión: Valor mínimo para el hormigón normal: $f'c = 21 \text{ MPa} = 214.07 \text{ kg/cm}^2$.” (SGR, 2016, p.12)

Tabla 2: Resistencias a la compresión de núcleos extraídos Fuente: Los autores

REPORTE DE ENSAYOS A LOS NÚCLEOS DE HORMIGÓN				
Número de núcleo	Eje	Carga (Kg)	Resistencia promedio (Kg/cm ²)	% Resistencia
1	B4	7.158	89	43
2	D3	1.917	24	11
3	C4-D4	17.153	214	102

Resultado de ensayo con fenolftaleína

Las muestras de los núcleos extraídos y sometidos a compresión se

utilizaron para realizar el ensayo de fenolftaleína, también conocido como carbonatación. Inmediatamente después que se hicieron los ensayos a los núcleos extraídos se procedió a rociar el elemento químico para detectar el estado de carbonatación del hormigón, obteniéndose como resultado un color rosa brillante en cada una de las muestras, como se puede observar en la Figura 4. Esto determina que el pH del hormigón no está carbonatado, lo que indica que su base de resistencia alcalina es muy buena, evitando la corrosión temprana del hierro.

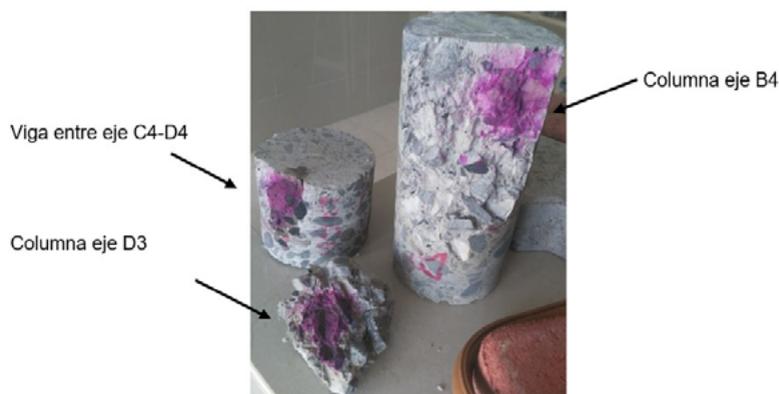


Figura 4: Ensayo de carbonatación en elementos estructurales.

Estudio de suelos

Se realizaron dos perforaciones de 4,50 m y 6,00 m de profundidad, la resistencia que se obtuvo del estudio fue de $q_a=2,00 \text{ kg/cm}^2$, pero para evaluar y analizar el comportamiento de la estructura como recomendación se utilizó una capacidad admisible de $q_a=3,0 \text{ kg/cm}^2$, considerando que el suelo debajo del edificio se encuentra consolidado.

Análisis Estructural del edificio “Residencia Alfaro”

El modelo final de la estructura se lo muestra en la Figura 5, está representado en su estado real, considerando los componentes de esta

(vigas, columnas, losas y nervios) con sus dimensiones correspondientes, los materiales con los que están constituidos y las cargas soportadas de acuerdo con los parámetros de la actual NEC-SE-DS 2015 (peligro sísmico).

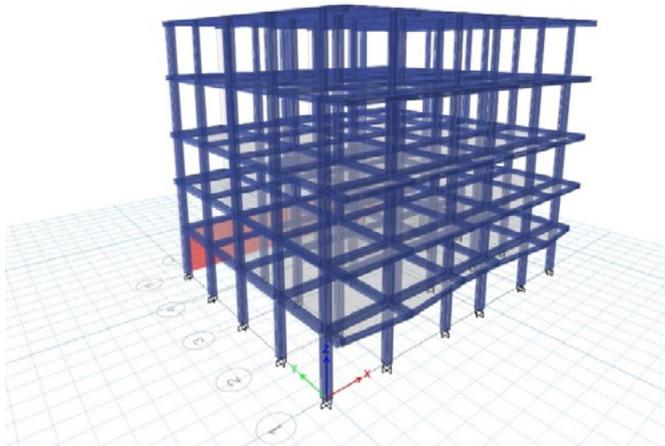


Figura 5: Modelo estructural en estado real del edificio “Residencia Alfaro”

Se tomaron en cuenta las cargas de acuerdo con la NEC-SE-DS para las diferentes solicitaciones de carga muerta y carga viva. Para estimar la carga sísmica y conociendo que el material constituyente de los elementos estructurales es el hormigón deben considerarse las secciones agrietadas. $0.5 I_g$ para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable) y $0.8 I_g$ para columnas.

Para considerar la acción sísmica se consideraron los siguientes parámetros:

El factor Z en función de la zona sísmica será $Z = 0.50$. Factores F_a , F_d y F_s para el perfil del subsuelo tipo D, definido en el estudio de suelos: $F_a = 1.12$; $F_d = 1.11$; $F_s = 1.40$. El factor de importancia por uso de la edificación es $I = 1$. y tomará el valor de 1, por considerarse a la estructura regular en planta y en elevación. Valores para $C_t = 0.055$ y

$\alpha = 0.9$ en función del tipo de estructura, Pórtico especial de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras. El factor de reducción de resistencia sísmica $R = 5$, para pórticos especiales sismo resistente de hormigón armado con vigas banda.

Para definir el periodo de vibración T , clasificando a la estructura como **pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales** rigidizadoras se tiene $C_t=0.055$ y $\alpha=0.90T$; para una altura de la estructura de $h_n = 13.30$ m, obtenemos:

$$T=C_t \cdot h_n^\alpha = 0.565 \text{ s}$$

Con los valores obtenidos se calcula $S_a = 1.008$, para luego calcular el cortante basal:

$$V = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \varphi_E \cdot \varphi_P} \cdot W = 0.202 W$$

El coeficiente k relacionado con el periodo de vibración de la estructura T , sería:

$$k=0.75+0.50 T=1.032 \text{ s}$$

Se ingresan los valores de cortante basal y el coeficiente k , en el programa y obtenemos los espectros de respuesta elástica y de diseño, tal como se muestra en la Figura 6. Del análisis estructural se obtiene que los periodos reales de la estructura sobrepasan el periodo calculado por la NEC-SE-DS 2015, cuya norma en su capítulo Peligro Sísmico, página 63, dice: "El valor T_a calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado en el método 1". Véase la Tabla 3.

PERIODOS		Observación
$T =$	0,565	Método 1
$T_a =$	0,735	1,3 T
$T_{\text{software}} =$	0,889	No cumple

Tabla 3: Comparación de periodos Fuente: Los autores



Figura 6: Espectros de respuesta elástica y de diseño

Se calcularon las derivas de piso $\Delta_M = 0.75R \Delta_E$ y observamos que no cumple con el máximo valor que indica la NEC 2015 de 0.020.

$$\Delta_M = 0.75 (5) (0.0077) = 0.029$$

Es importante indicar que, según el análisis la estructura reporta un comportamiento giratorio debido al muro de hormigón armado presente en el eje 5 del nivel Subsuelo, ocasionando momentos torsores que indujeron a las columnas del primer piso a tener un mal comportamiento sísmico.

Propuestas de reforzamiento estructural

Para alcanzar los parámetros exigidos en la NEC-SE-DS 2015 se analizaron dos propuestas de reforzamiento: construcción de muros de corte y ensanchamiento de columnas.

Construcción de muros de corte

Se propone 10 muros de corte internos que van desde el subsuelo hasta el tercer piso alto, en los ejes A1-F1 en el sentido X, y en los ejes A2-A4-D2-C4-D2-D4-F2 y F4 en el sentido Y; los espesores de estos elementos son de 0.20m. La longitud de los muros externos es de 1m y la de los internos es de 0.80m, ubicados de tal manera que eviten los momentos torsionales. Véase la Figura 8a.

Los resultados de este análisis indican que la deriva máxima de piso es menor que lo indicado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

$$\Delta_M = 0.75 (5) (0.004686) = 0.0176 < 0.02$$

Para la revisión de los modos de vibración en análisis dinámico la norma recomienda que los dos primeros modos sean de traslación y el tercer modo de rotación, lo que se logró controlar, por lo tanto, cumple con los parámetros establecidos. El periodo de la estructura en su forma real sobrepasaba el 30% permitido por la NEC-SE-DS 2015, y con el reforzamiento se pudo observar que está dentro de los parámetros requeridos con un valor de $T = 0.624 < T_A = 0.735$.

Ensanchamiento de columnas

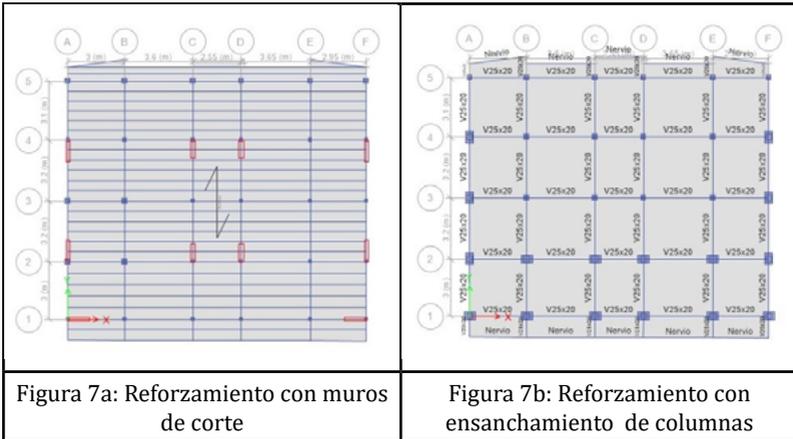
Se propone el ensanchamiento de columnas en los diferentes niveles y ejes de la edificación con dimensionamiento de 60x40 y 40x40 como se muestra en la Figura 7a, de tal manera que la estructura tenga un adecuado comportamiento ante un evento sísmico. Véase la Figura 7b.

Los resultados de este análisis indican que la deriva máxima de piso es menor que lo indicado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

$$\Delta_M = 0.75 (5) (0.00528) = 0.0198 < 0.02$$

Al igual que el reforzamiento anterior, este cumple con lo indicado en las normativas en cuanto a los modos de rotación y traslación. El periodo de la estructura en su forma real sobrepasaba el 30% permitido por la NEC-SE-DS 2015, y con el reforzamiento se puede observar que

está dentro de los parámetros requeridos con un valor de $T = 0.729 < T_A = 0.735$



Análisis comparativo económico

El costo del reforzamiento con muros de corte resultó ser un 43,39% del costo de reforzamiento con ensanchamiento de columnas. En ambos costos se incluyó el encofrado, el acero de refuerzo, la mano de obra y los aditivos.

Conclusiones

1. Los resultados obtenidos en los ensayos no destructivos con esclerómetro a las columnas y los ensayos destructivos con la extracción de núcleos indican valores bajos de resistencia a la compresión del hormigón; estos valores resultaron en promedio de 100 kg/cm^2 .
2. El modelo matemático de la edificación en su estado real, considerando el levantamiento geométrico y las resistencias existentes de los ensayos destructivos y no destructivos del hormigón, reportó valores inaceptables a nivel de comportamiento sísmico, es decir, derivas de piso, modos y periodos de vibración y rotaciones que no cumplen

con los requerimientos de la NEC-SE-DS actual.

3. La estructura modelada con los parámetros de la norma vigente NEC 15 (peligro sísmico) y con las propuestas de reforzamiento indicadas, muros de corte y ensanchamiento de columnas, cumplen con los requerimientos normativos, asegurando de esta manera un comportamiento adecuado frente a nuevos eventos sísmicos.

4. El reforzamiento con muros de corte resultó tener un costo económico más bajo que el propuesto con ensanchamiento de columnas.

5. La presencia de eventos sísmicos en Ecuador ha demostrado la constante amenaza sísmica con que se cuenta. Diseñar y construir de acuerdo con las normas de construcción vigentes incide directamente en el logro de estructuras con mejor desempeño sismorresistente, bajando considerablemente la vulnerabilidad y el riesgo sísmico. Valorar la necesidad de implementar algún sistema de disipación de energía que brinde protección a las estructuras es una buena opción para estructuras que así lo ameriten.

Bibliografía

- Aguiar, R. (2016). *Rehabilitación de edificio de la facultad de medicina de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí afectada por el terremoto del 16A*. Revista internacional de ingeniería de estructuras, S.P.
- Ángel, G. M. (2012). *Diseño estructural de edificios altos tipo torre empleando concreto de alta resistencia*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico UNAM.
- ASTM INTERNATIONAL. (S.A.). *Método Normalizado de Ensayo de Obtención y Ensayo de Núcleos Perforados y Vigas Aserradas de Concreto*. USA: ASTM INTERNATIONAL.
- Barbat, Oller y Vielma (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios*.

- Aplicación de la norma NCSE-02*. Barcelona-España: A.H. Barbat.
- Barros, L. y Peñafiel, M. (2015). *Análisis comparativo económico estructural entre un sistema aporticado, un sistema aporticado con muros estructurales y un sistema de paredes portantes en un edificio de 10 pisos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Catota, E. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de la carrera de Trabajo Social de la Universidad Central del Ecuador*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Diario El Universo (22 de Mayo de 2016). *Terremotos. Registros revelan que actividad sísmica subió en último 16 años*, s.p.
- Gallego, M. y Sarría, A. (2006). *El concreto y los terremotos: Conceptos, comportamiento, patología y rehabilitación*. Bogotá - Colombia: Instituto del Concreto.
- Grupo Sísmica C.A. (2017). *Estudio de Suelos. La investigación geotécnica en los proyectos de edificaciones*. Carabobo, Venezuela. Recuperado de www.e-zigurta.com
- Orellana, I. J. (2000). *Informe sísmico del Ecuador para el año 2000*. Quito: EPN Instituto Geofísico .
- Razo, A. L. (2009). *Evaluación y Rehabilitación Post-Sísmica*. Monterrey - México: Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey.
- RH Sampieri, C. C. (2006). *Metodología de la Investigación*. Iztapalapa México DF: Intagon Web, SA de CV .
- RIEMAT. (2016). *Necesidad de reforzar las estructuras afectadas por un terremoto*. Rhema, 24.
- Rojas, John J. (2010). *Ingeniería y Construcción*. Perú. Recuperado de civilgeek.com
- Russel, R. M. (29 de Abril de 2010). *Ventanas al Universo*. Obtenido de https://www.windows2universe.org/?page=/earth/geology/quake_4.html&lang=sp&
- Salvador, S. M. (2003). *Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones esenciales*.

Análisis de su contribución al riesgo sísmico. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

Secretaría de Gestión de Riesgos, S. M. (2016). *Peligro Sísmico.* Quito: Activa.

Sísmica, L. d. (2011). *Magnitud e intensidad,* sismos. Universidad de Costa Rica.

Secretaría de Gestión de Riesgos, SGR. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la NEC2015.* Quito, Ecuador: Imprenta Activa.

MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN PARA RESISTENCIAS DE 210 - 240 KG/CM² PRODUCIDOS EN MANTA

Ronnie Alvarado Rodríguez

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Av. Circunvalación – Vía a San Mateo, Manta. (05) 2629550 / 0982241876.

ronnie1395@hotmail.com

Jean Pinargote Valle

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Av. Circunvalación – Vía a San Mateo, Manta. (05) 2629550 / 0991938382.

carpin-96@hotmail.com

Abel Zambrano Mejía

Docente Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. (05) 2629550 / 0982419123. Av. Circunvalación – Vía a San Mateo, Manta.

angel.zambrano@uleam.edu.ec

Resumen

Para el diseño y el análisis de estructuras de hormigón armado se utiliza el módulo de elasticidad, también llamado módulo de Young del concreto (E_c), esta propiedad mecánica influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura. Está relacionado con la resistencia a compresión (f'_c) del mismo.

En el Ecuador, el módulo de elasticidad del hormigón basado en las recomendaciones de la “Norma Ecuatoriana de la Construcción, Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM)”, se puede calcular en función de la resistencia a la compresión del hormigón por la ecuación $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$, la cual proviene de la ecuación establecida por el

Comité ACI318. Por otra parte, se han planteado varias ecuaciones en diferentes investigaciones alrededor del mundo, debido a la variación de esta propiedad según los materiales empleados.

En la presente investigación se analizaron los resultados de los especímenes de hormigón preparados en la hormigonera “Ciudad Rodrigo” de la ciudad de Manta, las muestras corresponden a resistencias de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² ensayados a los 7, 14 y 28 días utilizando la normativa ASTM C469.

Los datos obtenidos serán utilizados para proponer un sistema de ecuaciones para la determinación del E_c , llegando a obtener con los resultados previos la ecuación $E_c = 10713 \sqrt{f'_c}$ para concretos fabricados en dicha hormigonera. Esta ecuación proporciona resultados de atendiendo a las características de los materiales utilizados en dicha hormigonera, por lo tanto, se obtienen valores más precisos que los recomendados por la NEC-SE-HM.

Palabras claves: módulo de elasticidad, hormigón, resistencia a compresión, análisis estructural, ASTM C469.

ELASTICITY MODULUS OF THE CONCRETE FOR RESISTANCES OF 210 - 240 KG / CM² PRODUCED IN MANTA

Abstract

Elasticity Modulus is used for the design and analysis of reinforced concrete structures. This modulus is also known as “Young Modulus” (E_c). Its mechanical property influences in the deflections, drifts and structure stiffness. It is related to its compression strength (f'_c).

In Ecuador, the Elasticity Modulus of concrete, based on the NEC-SE-HM recommendations – “Norma Ecuatoriana de la Construcción, Estructuras de Hormigón Armado”, can be calculated as function of the

compressive strength of the concrete with the $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ equation, which comes from the equation established by the ACI318 committee. On the other hand, several equations have been formulated in different investigations around the world because of the variation of this property, according to the materials used.

The results of the concrete's specimens were analyzed in this research, which were prepared in the Concrete - Mixer called "Ciudad Rodrigo", located in Manta city. The samples were taken from strengths of 210 kg/cm² y 240 kg/cm², tested at 7, 14 and 28 days using ASTM C469 regulations.

The data obtained will be used to propose an Equation System for E_c determination, achieving with previous results the $E_c = 10713\sqrt{f'_c}$ equation for manufactured concrete in this Concrete - Mixer, mentioned above. This equation provides results, that attend to the characteristics of used materials in this Concrete - Mixer. Therefore, more precise values are obtained than those recommended by the NEC-SE-HM.

Key words: Elasticity Modulus, concrete, compression strength, structure, analysis, ASTM C469.

Introducción

Antecedentes

Según la investigación realizada por (Sharon Huo et al., 2001) en la Universidad de Texas en Austin concluyeron que los resultados de la prueba obtenidos de esta investigación mostraron que las ecuaciones de ACI actuales para la contracción, fluencia y el módulo de elasticidad del concreto no predicen con precisión estas propiedades del material, por lo contrario, sobreestimaban los resultados del módulo de elasticidad comprados con el experimental realizado con material de la zona del ensayo.

Similares estudios realizados en la Universidad de Minnesota demostraron que las ecuaciones propuestas por el ACI – 318 sobreestiman los valores de módulo de elasticidad con relación al experimental propuesto por la ASTM – 469.

Alrededor del mundo los códigos establecen sus propias ecuaciones para estimar el módulo de elasticidad del hormigón, sus valores difieren debido a los materiales utilizados en la producción del concreto, en la elasticidad de sus agregados y a variables que influyen en la resistencia del hormigón curado en obra y en laboratorio.

A nivel internacional existen diversas normativas que proponen el valor del módulo de elasticidad, por ejemplo en América, el American Concrete Institute (ACI-318) establece su ecuación en función a la resistencia del hormigón $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$. A nivel de toda Europa el Eurocódigo 2 establece el diseño de estructuras de hormigón y establece la siguiente ecuación para estimar el módulo de elasticidad $E_c = 22 \left[\frac{f'_c}{10} \right]^{0.3}$, la cual es muy diferente a la establecida por la Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08) $E_c = 8.5[f'_c]^{\frac{1}{3}}$.

Planteamiento del problema

Existe una incertidumbre en el valor real del módulo de elasticidad del hormigón utilizado en el análisis de estructuras a partir de la resistencia del mismo, las características de los materiales y el proceso de elaboración en la ciudad de Manta.

Justificación

En sistemas de construcción aporticadas y en sistemas duales, el módulo de elasticidad se transforma en un factor de gran importancia, ya que es un parámetro que los ingenieros calculistas usan para el diseño de estructuras, que acorde a las dimensiones de los elementos como columnas y vigas se obtienen las derivas de piso y las deflexiones de

los elementos respectivamente.

Cabe mencionar que en el Ecuador, para la estimación del módulo de elasticidad del hormigón, se han adoptado ecuaciones y valores impuestos por institutos internacionales como el American Concrete Institute (A.C.I.), el cual se basa en investigaciones realizadas en su medio y con sus propios materiales, sin embargo, estas ecuaciones no aseguran un comportamiento similar con los hormigones del medio local.

Según la investigación de Gallego y Sarria (2006) al momento que existe la incertidumbre del verdadero módulo de elasticidad del hormigón, incrementará la incertidumbre sobre los verdaderos valores de las rigideces de los elementos de una construcción. En el mismo estudio indica que sólo la variabilidad de esta propiedad del concreto puede dar como consecuencia en los modelos numéricos errores de hasta el 30% de las estimaciones reales de los desplazamientos. Esto indica que existe una brecha muy corta entre el mal diseño con consecuencias devastadoras y las vidas de quienes ocupen una edificación.

Por otro lado, con referencia a la NEC (2015), en el listado de normas referentes, establece que para el cálculo del , existe la normativa ASTM C469 (Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del hormigón en compresión) correspondiente al módulo secante del hormigón, el cual lo calcula como la pendiente entre un punto de inicio de la curva esfuerzo deformación hasta un esfuerzo del 0.45 de la resistencia del hormigón.

A pesar de que existen diferentes estudios sobre el cálculo del módulo de elasticidad del concreto en el Ecuador, estos se han llevado a cabo en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Guayas entre otras, tanto para hormigones realizados en planta como para nuevos diseños de mezclas en laboratorio. Sin embargo, no existe una investigación realizada en la provincia de Manabí, específicamente en la ciudad de Manta, la cual fue afectada muy fuerte por el terremoto del pasado 16 de abril de 2016,

donde se evidencio la falta del uso de las normativas de construcción y el correcto manejo de los materiales como es el hormigón.

Objetivo

Definir una ecuación para la determinación del módulo de elasticidad del hormigón para diferentes resistencias en la ciudad de Manta.

Desarrollo

Concepciones teóricas sobre el módulo de elasticidad

Curva esfuerzo – deformación

Al momento de diseñar, a más de la resistencia de los materiales es importante conocer el comportamiento del mismo para predecir el momento en el que el material falla. El módulo de elasticidad es un parámetro que define el comportamiento, el cual está definido dentro de la curva esfuerzo – deformación.

«Cuando el material es isótropo, homogéneo y su comportamiento en el rango elástico obedece a una relación lineal entre las cargas aplicadas y las deformaciones generadas, es relativamente sencillo predecir el comportamiento mecánico del mismo por medio de la mecánica de materiales clásicas. (Lamus y Andrade, 2015)

El módulo de elasticidad del hormigón se lo define como la pendiente inicial de la curva el cual presenta un comportamiento aproximadamente elástico.

Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad del hormigón o módulo de Young denominado generalmente como E_c , es la relación que existe entre el esfuerzo a compresión y la deformación longitudinal. El módulo de elasticidad influye en las rigideces, deflexiones y derivas en una estructura, permite también conocer los acortamientos de los elementos sometidos a cargas axiales.

El concreto es un material elastoplástico, por lo tanto, los esfuerzos no son directamente proporcionales a la deformación. Para acordar un valor de módulo de elasticidad se han empleado términos como módulo secante y módulo tangente del hormigón.

“El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo – deformación en un punto de ella. En particular, el módulo tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina modulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero con otro cualquiera de la curva. El módulo secante es más fácil de determinar que el módulo tangente, por ello es el más utilizado”. (Harmsen, 2005)

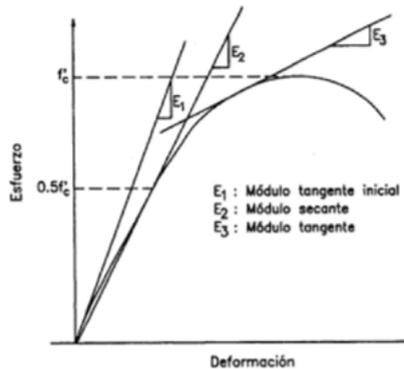


Figura 1: Módulo Tangente y Secante del concreto. Fuente: (Harmsen, 2005)

La Figura 1 muestra la curva esfuerzo – deformación, la cual tiene un tramo ascendente casi lineal, la pendiente de este primer tramo puede ir variando de acuerdo a la resistencia. Citando a (Harmsen, 2005) “La rama lineal se extiende aproximadamente $1/3$ a $1/2$ de f_c , posteriormente adopta la forma de una parábola invertida cuyo vértice corresponde al esfuerzo máximo a compresión”.

Metodología de cálculo

La determinación de las deformaciones y la determinación del módulo de elasticidad del concreto se la realizó conforme a la norma ASTM – C469-14, también denominada módulo de cuerda.

Como lo indica la norma ASTM – C469, se deben de realizar tres ciclos de carga y descarga. La primera precarga debe ser del 0.10 al 0.15 del $f'c$ de los especímenes gemelos ensayados, con esto se pretende que se produzca alguna anormalidad y corregirla. Las otras dos cargas corresponden a un esfuerzo del 40% de la resistencia final del concreto, de la cual se promedian los resultados.

El compresómetro (*Figura 2*) es del tipo dos anillos y un micrómetro, únicamente mide deformaciones longitudinales, suficiente para calcular el módulo de elasticidad, el cual se adhiere al espécimen por medio de tornillos.



Figura 2: Compresómetro con micrómetro longitudinal mecánico.

La deformación unitaria del espécimen se la calcula con la siguiente expresión y se la explica con el siguiente diagrama de desplazamiento:

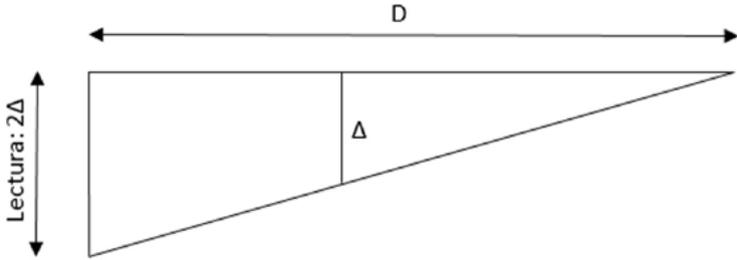


Figura 3: Diagrama de deformaciones

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

$$\Delta = \frac{\text{LECTURA}}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\text{LECTURA } 1 \times 10^{-4} \text{ inch}}{2 \times L_0}$$

Donde:

ε = Deformación unitaria

Δ = Deformación longitudinal de la muestra

L_0 = Longitud inicial de medida (10 cm)

El ensayo consiste en trazar una recta que una dos puntos de la curva esfuerzo - deformación dentro del rango elástico, el punto inicial de la recta estará definida como la deformación unitaria correspondiente a una deformación de 50 millonésima (y el esfuerzo correspondiente a esa deformación σ_1 , el segundo punto corresponde a la deformación unitaria σ_2 producida por el esfuerzo del 40% del esfuerzo máximo del hormigón σ_c . Se calcula utilizando la siguiente ecuación donde el módulo de elasticidad está expresado en kg/cm²:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 50 \times 10^{-6}}$$

Obtención del coeficiente numérico de elasticidad

El coeficiente numérico de elasticidad se lo calculó con la siguiente expresión:

$$k = E / \sqrt{f'c}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad obtenido del ensayo, en kg/cm².

f'c: Resistencia última del espécimen ensayado a compresión, en kg/cm².

Materiales y métodos

Normativa y nociones generales del ensayo

Los ensayos realizados en esta investigación corresponden a muestras con resistencia de 210 y 240 kg/cm² tomadas en la planta de hormigón “Ciudad Rodrigo” de la ciudad de Manta, siendo esta uno de los principales proveedores de hormigón en las construcciones de la ciudad.

La toma de muestras para realizar los ensayos se la realizó de acuerdo a la Norma ASTM C172-08 “Práctica Normalizada para Muestreo de Concreto Recién Mezclado”, el llenado de los especímenes según lo establecido en la Norma ASTM C31/C31M-17 “Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra”.

Los ensayos de mayor interés son los realizados a los 28 días ya que es cuando el hormigón ha alcanzado su máxima resistencia, pero debido a que en muchas ocasiones se necesita conocer las propiedades del hormigón antes de este período de tiempo para continuar los procesos constructivos también se analizaron los datos de 7 y 14 días.

Número de especímenes ensayados

El número de muestras a ensayar está basado según lo establecido

en las normas ASTM respectivas, para los ensayos de resistencia se tomaron dos especímenes que es la cantidad mínima requerida por la norma, esto se lo hizo para cada período de tiempo (7, 14 y 28 días).

Por otro lado para obtener el módulo de elasticidad el mínimo es tres especímenes por lo que se tomaron para los ensayos de 7 y 14 días un total de tres muestras para cada intervalo de tiempo; para los ensayos de 28 días, basados en las recomendaciones de investigaciones previas, se decidió tomar 6 especímenes para lograr obtener resultados con mayor nivel de confiabilidad.

Procedimiento de ensayo y equipos utilizados

En términos generales el procedimiento realizado para la obtención de los resultados se lo puede dividir en tres fases. Lo primero que se realizaba era el ensayo de resistencia utilizando la prensa descrita anteriormente. La finalidad de estas pruebas es obtener la resistencia promedio del conjunto de especímenes y determinar el 40% de esta resistencia obtenida, siendo esta una variable que se necesita conocer para el cálculo del módulo de elasticidad.

Luego se procede a realizar los ensayos de módulo de elasticidad basados en la norma ASTM C469 / C469M - 14 "Práctica normalizada para el módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto a compresión".

Como ya se conoce aproximadamente el 40% de la resistencia de los especímenes se sometía a los cilindros hasta éste valor de resistencia. De acuerdo a lo establecido en la norma este procedimiento se lo debe realizar dos veces con el mismo espécimen y luego promediar los resultados, siendo este promedio el valor final de módulo de elasticidad.

Obtención de las curvas de esfuerzo- deformación y módulo de elasticidad

Cabe mencionar que para obtener el módulo de elasticidad es necesario conocer las deformaciones obtenidas según el esfuerzo aplicado. Se procesa la información empleando Microsoft Excel como primer paso, ordenando en una tabla los esfuerzos y las deformaciones unitarias respectivas.

Luego se procede a representar de forma gráfica los datos mencionados anteriormente, a este gráfico se lo conoce como Curva de Esfuerzo-Deformación del Hormigón.

Según la metodología para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón existen dos ecuaciones, en esta investigación se empleó la ecuación de módulo de elasticidad secante, que hace referencia a la unión de dos puntos de la curva esfuerzo deformación en el rango elástico.

Los dos puntos que se consideran en la ecuación son: la deformación unitaria de 50 millonésimas, y el segundo se refiere al 40% de la resistencia de rotura del hormigón que es aproximadamente hasta donde se mantiene el rango de comportamiento lineal.

Para calcular el módulo de elasticidad ya se contaba con dos variables de la ecuación, mientras que σ y ϵ se obtenían mediante interpolación de la curva de esfuerzo deformación obtenida para cada muestra.

Determinación del coeficiente numérico de elasticidad

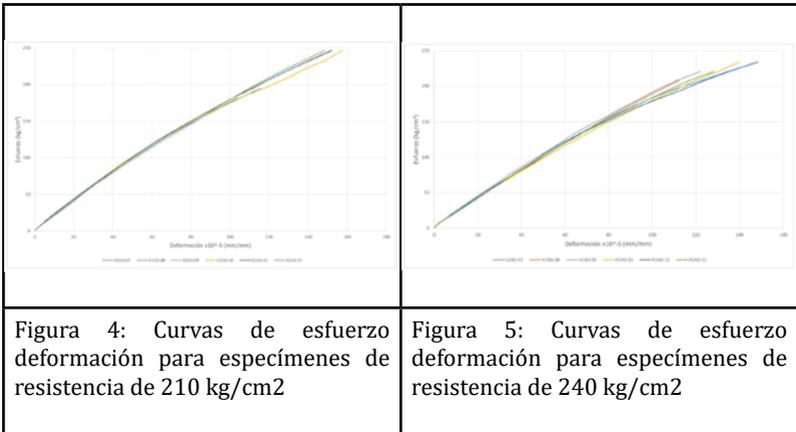
Una vez obtenidos los valores de módulo de elasticidad y resistencia a la compresión respectiva para cada muestra, se procede a determinar el coeficiente E_c para cada espécimen.

Posteriormente se obtiene el promedio de todos los coeficientes y luego la ecuación de cálculo del módulo de elasticidad para hormigones premezclados en la ciudad de Manta.

Resultados y discusión

Curvas de esfuerzo deformación

En las figuras 4 y 5 se muestran las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas para los especímenes de 210 y 240 kg/cm² respectivamente. Estos datos corresponden a los ensayos realizados a los 28 días.



Como se puede apreciar en ambas figuras, el comportamiento del hormigón es muy similar para los especímenes de la misma muestra. Una de las razones por las que estos resultados cambian puede ser las condiciones de moldeado de los cilindros, porque se deben llenar los especímenes en un tiempo máximo de 15 minutos como lo establece la norma. Este procedimiento se dificulta en cierto grado.

Módulo de elasticidad obtenido experimentalmente

Como se mencionó anteriormente se obtuvieron los resultados de módulo de elasticidad y resistencia a la compresión para cada uno de los especímenes. Estos resultados se muestran en la *Tabla 1*.

CILINDRO	RESISTENCIA		E (Experimental)		E (ACI 318)		E (ACI 363)		E (NEC 15)	
	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	%	(MPa)	%	(MPa)	%
H210-07	296,94	29,12	190007,66	18633,32	258480,28	73,51	24815,7	75,09	23236,99	80,19
H210-08	300,92	29,51	194544,87	19078,26	260205,42	74,77	24935,27	76,51	23392,08	81,56
H210-09	304,79	29,89	185348,17	18176,38	261875,39	70,78	25051,02	72,56	23542,21	77,21
H210-10	308,26	30,23	191174,83	18747,78	263360,60	72,59	25153,96	74,53	23675,73	79,19
H210-11	299,39	29,36	192153,02	18843,70	259543,26	74,04	24889,38	75,71	23332,56	80,76
H210-12	334,47	32,80	187370,68	18374,72	274327,06	68,30	25914,07	70,91	24661,6	74,51
H240-07	329,47	32,31	195298,41	19152,16	272270,26	71,73	25771,51	74,32	24476,69	78,25
H240-08	332,94	32,65	192872,93	18914,30	273699,07	70,47	25870,54	73,11	24605,14	76,87
H240-09	356,60	34,97	200572,43	19669,36	283256,28	70,81	26532,97	74,13	25464,32	77,24
H240-10	329,27	32,29	186122,82	18252,35	272185,98	68,38	25765,66	70,84	24469,12	74,59
H240-11	336,30	32,98	193650,30	18990,54	275078,76	70,40	25966,17	73,14	24729,17	76,79
H240-12	327,23	32,09	193496,45	18975,45	271341,73	71,31	25707,15	73,81	24393,22	77,79
PROMEDIO						71,42		73,72		77,91

Tabla 1: Resultados de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y porcentajes de variación. Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se puede concluir que el porcentaje de variación que existe aplicando las ecuaciones propuestas en las normas es considerable, siendo la NEC-SE-HM (2015) la más conservadora ya que en promedio estos valores representan el 77.91% del valor obtenido experimentalmente. Por otro lado, los valores obtenidos aplicando la ecuación del Código ACI-318 representan el 71.42%, siendo esta la que más variación presenta.

Definición de la ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad

En la *Tabla 1* se pueden apreciar también los resultados de resistencia y módulo de elasticidad para cada espécimen, con estos datos se procede a determinar el coeficiente de la ecuación a plantear como se muestra en la *Tabla 2*.

CILINDRO	RESISTENCIA		E (Experimental)		COEFICIENTE	
	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	k (kg/cm ²)	k (MPa)
H210-07	296,94	29,12	190007,66	18633,32	11026,43	3452,98
H210-08	300,92	29,51	194544,87	19078,26	11214,88	3512,00
H210-09	304,79	29,89	185348,17	18176,38	10616,59	3324,64
H210-10	308,26	30,23	191174,83	18747,78	10888,58	3409,81
H210-11	299,39	29,36	192153,02	18843,70	11105,26	3477,67
H210-12	334,47	32,80	187370,68	18374,72	10245,29	3208,37
H240-07	329,47	32,31	195298,41	19152,16	10759,44	3369,37
H240-08	332,94	32,65	192872,93	18914,30	10570,35	3310,16
H240-09	356,60	34,97	200572,43	19669,36	10621,43	3326,15
H240-10	329,27	32,29	186122,82	18252,35	10257,11	3212,07
H240-11	336,30	32,98	193650,30	18990,54	10559,72	3306,83
H240-12	327,23	32,09	193496,45	18975,45	10696,65	3349,71
PROMEDIO					10713,48	3354,98

Tabla 2: Coeficiente numérico de elasticidad Fuente: Elaboración propia

Con los coeficientes promedios se procede a definir la ecuación realizando una aproximación de estos coeficientes a la unidad, quedando las siguientes ecuaciones:

$$Ec = 10713\sqrt{f'c} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Ec = 3355\sqrt{f'c} \text{ [MPa]}$$

En el caso del coeficiente empleado en la ecuación para resistencia expresada en kg/cm², este representa un 71.42% del coeficiente recomendado por el Código ACI 318 que es de 15000.

Aplicación de la ecuación propuesta y porcentaje de variación

Una vez definida la ecuación se procedió a la aplicación de la misma empleando los valores de resistencia obtenidos en los ensayos. Posteriormente se calcula el porcentaje de variación de los resultados en relación al valor real.

CILINDRO	RESISTENCIA		E (Experimental)		PROPUESTA	
	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)	%
H210-07	296,94	29,12	190007,66	18633,32	184606,61	102,93
H210-08	300,92	29,51	194544,87	19078,26	185838,71	104,68
H210-09	304,79	29,89	185348,17	18176,38	187031,40	99,10
H210-10	308,26	30,23	191174,83	18747,78	188092,14	101,64
H210-11	299,39	29,36	192153,02	18843,70	185365,80	103,66
H210-12	334,47	32,80	187370,68	18374,72	195924,39	95,63
H240-07	329,472	32,31	195298,41	19152,16	194455,42	100,43
H240-08	332,939	32,65	192872,93	18914,30	195475,88	98,67
H240-09	356,596	34,97	200572,43	19669,36	202301,63	99,15
H240-10	329,268	32,29	186122,82	18252,35	194395,23	95,74
H240-11	336,304	32,98	193650,30	18990,54	196461,25	98,57
H240-12	327,23	32,09	193496,45	18975,45	193792,26	99,85
PROMEDIO						100,00

Tabla 3: Módulo de elasticidad obtenido con la ecuación propuesta y porcentajes de variación Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se aprecia que, mediante la aplicación de la ecuación planteada, los resultados de módulo de elasticidad representan entre 95.63 % y 104.68 % del valor obtenido experimentalmente. Calculando el promedio de los porcentajes se determina que, aplicando la ecuación obtenida en esta investigación se obtiene un módulo de elasticidad que representa el 100% del valor real.

Con lo mencionado anteriormente se puede comprobar que con la ecuación planteada anteriormente se obtienen resultados de propios a las características de los materiales utilizados en el lugar de fabricación, por lo tanto, estos valores son más precisos que los recomendados en la normativa existente.

Conclusiones

1. Las ecuaciones para la determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón propuestas por el Código ACI, comités 318 y 363, y por la

NEC 2015, no son aplicable a la ciudad de Manta, debido a la diferencia en la calidad de los materiales utilizados para su fabricación. Esto se debe también a la diferencia entre las características geológicas de la provincia, la mano de obra, técnica y tecnología constructiva, control de calidad y condiciones medioambientales en comparación a los Estados Unidos, lugar de emisión del Código ACI.

2. Los resultados de Módulo de Elasticidad del hormigón obtenidos aplicando las ecuaciones propuestas por las normativas representan del valor real: 71.42% con el Código ACI, 73.72% con el Código ACI 363, y 77.91% aplicando la NEC 2015, siendo este último el que más se aproxima al 100%.

3. El coeficiente del Módulo de Elasticidad del hormigón fabricado por la Hormigonera Ciudad Rodrigo, obtenido experimentalmente es 10713 para $f'c$ en kg/cm², el cual representa el 71.42 % del valor propuesto por el Código ACI 318.

4. Aplicando la ecuación propuesta en esta investigación se obtienen resultados de Módulo de Elasticidad que representan entre el 95.63% y 104.68% del valor obtenido experimentalmente.

5. Con los resultados obtenidos experimentalmente en esta investigación se proponen ecuaciones alternativas a las propuestas por las normativas existentes para el cálculo del Módulo Estático de Elasticidad del hormigón en función de su resistencia a la compresión.

Bibliografía

- ASTM C469. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- Gallego, M., y Sarria, A. (2006). *El concreto y los terremotos. Conceptos, comportamiento, patología y rehabilitación*. Asociación Colombiana de Productores de Concreto (Asocreto). Instituto del Concreto.

- Harmsen, T. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado* (Cuarta ed.). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lamus, F., y Andrade, S. (2015). *Concreto Reforzado Fundamento* (20 ed.). Bogotá: Ecoe.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC (2015). *Estructuras de Hormigón Armado*, Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Sharon Huo, X.; Al-Omaishi, N. y Tadros, M. K., (2001). Creep, Shrinkage, and Modulus of Elasticity of High-Performance Concrete. *Materials Journal*, 98, 400-449.

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES CONFORME A LA METODOLOGÍA MARSHALL Y CÁNTABRO

María Cecilia Ruiz Muñoz

Ingeniera Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: mcruiz14@hotmail.com

Carlos Andrés Macías Ávila

Ingeniero Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: carlosmacias25@hotmail.com

Javier Baque Solís

Docente de la Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

Correo: javierbaque1980@gmail.com

Oliver Castro García

Jefe de planta asfáltica de la constructora Ciudad Rodrigo S.A., Manta, Ecuador.

Correo: oliver-cg@hotmail.com

Resumen

La mezcla asfáltica drenante se define como un hormigón asfáltico con un contenido de vacíos de aire de alrededor del 20% y capaz de formar conductos de drenaje dentro de la mezcla. Consiste en una mezcla de asfalto de granulometría abierta, utilizada generalmente como capa de rodadura para permitir la evacuación inmediata del agua sobre ella. Casi todos los pavimentos que se han construido durante

décadas anteriores son sistemas de drenaje demasiado lentos, lo que hace que estos contengan agua libre durante períodos importantes de tiempo ocasionando deterioro en la capa de rodadura. El presente trabajo tiene como objetivo en ser una guía metodológica de diseño de mezclas asfálticas drenantes mediante la utilización de un conjunto de normativas nacionales e internacionales aplicando los ensayos Marshall y Cántabro. La investigación demuestra que a nivel general el método de ensayo Marshall para asfalto drenante es el método de diseño de mezcla más ampliamente utilizado para el estudio experimental de laboratorio en la actualidad. Los principales parámetros del Método Marshall son el trabajo de compactación y temperatura de compactación, es decir, permitiendo determinar el contenido de vacíos de aire conforme a los requisitos bajo el trabajo de compactación estándar uniforme y el rango dado de temperatura de compactación en práctica. El Método Cántabro permite conocer la pérdida por desgaste de las briquetas al ser sometidas al ensayo seco y húmedo en la máquina de Los Ángeles el cual proporciona información del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica drenante.

Palabras clave: marshall, cántabro, mezcla asfáltica, drenaje, agregados.

PROPOSAL OF PROCEDURE FOR DESIGN OF DRAINING ASPHALT MIXES ACCORDING TO METHODOLOGY MARSHALL AND CÁNTABRO

Abstract

The draining asphalt mixture is defined as an asphaltic concrete with an air void content of around 20% and capable of forming drainage channels within the mixture. It consists of a mixture of asphalt with an open granulometry, generally used as a rolling layer to allow the immediate evacuation of water on it. Almost all the pavements that have been built during previous decades are drainage systems that

are too slow, which means that they contain free water for important periods of time causing deterioration in the tread layer. The objective of this work is to be a methodological guide for the design of draining asphalt mixtures by using a set of national and international regulations applying the Marshall and Cantabrian tests. The research shows that the general Marshall method for draining asphalt is the most widely used mixture design method for experimental laboratory study today. The main parameters of the Marshall Method are the compaction work and compaction temperature, that is, allowing to determine the content of air voids according to the requirements under the uniform standard compaction work and the given range of compaction temperature in practice. The Cantabrian Method allows to know the loss due to wear of the briquettes when subjected to the dry and wet test in the Los Angeles machine which provides information on the mechanical behavior of the draining asphalt mixture.

Keywords: marshall, cantabro, asphalt mix, drainage, aggregates

Introducción

Antecedentes

Varios países alrededor del mundo desde la década de los 70 han venido estudiando y aplicando las mezclas drenantes, entre ellos se encuentra: España desde 1980, Suiza y Holanda desde 1972, Italia desde 1998, entre otros países de Europa. La ventaja de utilizar este tipo de mezcla con una gran cantidad de vacíos como capa de rodadura contribuyó a que sea foco de investigación, la dificultad se encontraba en determinar una metodología que facilite su diseño, que cumpla con aquellas propiedades que deben poseer las mezclas asfálticas, entre las cuales se encuentra la durabilidad y estabilidad. Una investigación realizada por (Fonseca R. et al., 1999) concluyen que el método de determinación de la pérdida por desgaste (Cántabro) en mezclas asfálticas drenantes es un método

sencillo cuyos resultados en el comportamiento de estas mezclas en servicio es muy buena, por lo que utilizarlo como metodología en el diseño de las mismas es favorable ya que permite conocer la resistencia a la disgregación por efectos abrasivos y de succión del tránsito.

No solo el método de ensayo de cántabro fue utilizado como método para el diseño de mezclas asfálticas, existen investigaciones donde la metodología de diseño Marshall es utilizado en el diseño de mezclas drenantes debido a que considera parámetros como relación de vacíos y temperatura de compactación tal como se presenta en la investigación realizada en la Universidad del Salvador por Ayala y Juárez (2010).

Planteamiento del problema

Las carreteras realizadas en el Ecuador son diseñadas con pendientes transversales para drenar el agua proveniente de la escorrentía hacia un dren o cuneta, pero al existir lluvias de larga duración, la pendiente transversal no trabaja eficientemente para drenar el agua a su destino, dejando como resultado una película de agua en la capa de rodadura que al momento de filtrarse debilita el pavimento.

Al existir una película de agua sobre la capa de rodadura se produce un efecto llamado hidropilaje que se manifiesta mediante la separación del neumático con el pavimento al transitar por la vía, de igual manera la reflexión de luz afecta la visibilidad del conductor por las noches, lo que aumenta las posibilidades de sufrir un accidente de tránsito.

Actualmente nuestro país carece de normativas para el diseño de mezclas asfálticas drenantes, siendo este el motivo fundamental de proponer una metodología de diseño en base a las características del ensayo Marshall y Cántabro, adoptando normativas colombianas y españolas para el cumplimiento de parámetros que deben llevar los mismos.

Justificación

Los requerimientos de seguridad al tránsito exigidos hoy en día a las superficies de rodamiento, han llevado a desarrollar materiales con características diferentes a las ya conocidas. La Mezcla Asfáltica Drenantes (MAD) es un material que ha sido desarrollado en esta línea de pensamiento. Se trata de mezclas asfálticas que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de vacíos. (Jacobo, 2010)

Es evidente conocer mediante un análisis realizado a los datos que otorga la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador en su sección de estadísticas sobre accidentes de tránsito al mencionar que en el año 2017 existieron 28.967 accidentes de los cuales 513 fueron causados por condiciones ambientales o atmosféricas, malas condiciones de la vía o presencia de agentes externos en las vías (Agua), esto equivale a 1.77% de los accidentes producidos desde enero a diciembre del año 2017. Estos accidentes ocurrían con mayor incidencia en épocas invernales cuando se producen efectos como el hidroplaneo, poca adherencia entre neumático - capa de rodadura y mayor deslumbramiento por los faros en los vehículos por el efecto del agua.

Un estudio experimental fue ejecutado con el fin de analizar la influencia que tiene el ligante asfáltico sobre el fenómeno de daño por humedad en mezclas asfálticas porosas, debido solo al efecto del agua. A pesar, que el cemento asfáltico es un material relativamente impermeable y de muy baja reacción química con agentes externos, como conclusión general se reporta en este estudio, que este tipo de ligante en presencia única del agua cambia su consistencia (endurece) y aumenta su rigidez. Lo anterior podría ser debido, en parte, por la presencia de moléculas de oxígeno en el agua que reacciona con los cementos asfálticos (oxidación). (Rondón Quintana et al., 2016)

El presente proyecto busca brindar una propuesta de la metodología de diseño de las mezclas asfálticas drenantes conforme a la metodología

Marshall y Cántabro.

Objetivo

Plantear una propuesta de procedimiento para el diseño de mezclas asfálticas drenantes conforme a la metodología Marshall y Cántabro.

Desarrollo

Concepciones teóricas

Mezclas asfálticas drenantes.

Las mezclas asfálticas drenantes se basan principalmente en la utilización de dos criterios los cuales son: resistencia a la disgregación y permeabilidad. Normalmente para mejorar la cohesión entre ligante-agregado y evitar la disgregación de una mezcla se debe aumentar su contenido en finos y ligante, pero, por otra parte, si se desea aumentarle la permeabilidad y porosidad se tendrá que incrementar el porcentaje de gruesos y reducir la fracción fina. Las mezclas asfálticas drenantes buscarán solucionar esta problemática logrando el máximo contenido de vacíos posible, haciendo compatibilidad con una buena resistencia a las cargas de tráfico sin disregar, mediante el uso de áridos y asfalto de mejor calidad, es posible también mejorarlo añadiendo polímeros.

Es un tipo de mezcla asfáltica drenantes, que funciona en un conjunto de estructuras drenantes permitiendo la infiltración del agua hasta la subrasante, he incluso puede permitir la recuperación del agua, colocando un sistema de capas de geotextil en conjunto con drenes. Este tipo de mezcla es muy común para zonas de parqueo, zonas de carga y descarga, zonas de bajo tráfico.

Según Mora y Pérez (1998) las ventajas de utilizar una mezcla asfáltica drenantes incluyen: elevada resistencia al deslizamiento bajo lluvia y altas velocidades, reducción de que se produzca el fenómeno hidropilano, mejora la visibilidad con el pavimento mojado, adecuado comportamiento

mecánico, rodadura cómoda y silenciosa, reducción del agua proyectada por el paso de vehículos. Además, existen limitaciones como: disminución de la vida útil respecto a una mezcla densa, pérdida de porosidad con el tiempo, falta de experiencia en el diseño, mantenimiento más frecuente.

La estructura de una mezcla asfáltica drenante requiere de una capa impermeable debajo de la capa de rodadura para lograr evacuar el agua, mientras que la mezcla densa no, actuando solamente por bombeos, son utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm, donde se consigue que el agua de lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

La mezcla asfáltica densa es aquella que en su proporción de vacíos no supera más del 6%, para su diseño se basan en el criterio del porcentaje de vacíos y de la estabilidad, estos criterios también son muy importantes en el diseño de mezclas drenantes adicionando el cántabro, según Padilla Rodríguez (2015).

Materiales y métodos

Para el diseño de mezclas asfálticas drenantes se deben considerar una serie de pasos y parámetros que cumplan con las normativas específicas para este tipo de mezcla. Quien va a dar las características principales a las mezclas drenantes son sus agregados y el material bituminoso. Los aditivos y polímeros se añaden conforme a los requerimientos de propiedades en la mezcla drenante.

Materiales Pétreos

El material de agregado debe ser durable bajo las condiciones a las cuales estarán expuestos en servicio. En ausencia de experiencia local en el uso de los agregados, se debe recurrir a pruebas de laboratorio que proveerán información para predecir su comportamiento y se debe

comparar con las especificaciones existentes. La American Society for Testing and Materials (ASTM), mantiene definiciones y estándares para que el material de agregado sea evaluado mediante pruebas. Es muy importante para el diseño adecuado contar con normativas locales que permitan evaluar el material apropiadamente. (Ferguson, 2005)

La caracterización de los agregados y asfaltos utilizados se basará en las normas INEN, ASTM y AASHTO, en esta sección también se da una breve explicación de cada ensayo realizado, para de esta manera proporcionar una visión más amplia del diseño de la mezcla drenante. Los ensayos que recomiendan realizar varios autores a cada proporción de agregado que participará en la mezcla son los siguientes:

Tabla 1: Ensayos para caracterización de agregados. Fuente: (Elaboración propia)

1. Granulometría	2. Equivalente de arena	3. Desgaste
4. Gravedad específica y absorción	5. Partículas planas y alargadas	6. Pérdida en ensayo de solidez

La granulometría se realizará según el procedimiento propuesto por la INEN 872 que permitirá conocer el tamaño de cada partícula de agregado en función de la retención que exista en cada tamiz, se deberá obtener una granulometría individual por cada agregado, posteriormente se combinan en un solo conjunto, para de esta manera obtener la fórmula de trabajo para elaborar mezclas drenantes y comprobar si los materiales locales se encuentran dentro de aquella faja, Se tomará en cuenta la faja granulométrica de las normas INVIAS Art. 453, tabla 453-4 para el diseño de mezcla drenante.

Granulometría para mezcla abierta - INVIAS Art. 453, tabla 453-4							
Tamiz	3/4	1/2	3/8	4	10	40	200
Abertura (mm)	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.075
Especificación	100	70	50	15	9	5	3
	100	100	75	32	20	12	7

Tabla 2: Especificación granulométrica para mezcla drenante. Fuente: (INVIAS_453,2012)

La medición del desgaste de los materiales se realiza mediante la normativa INEN_860 en la máquina de los ángeles a una velocidad entre 188 y 208 rad/min se debe completar 500 vueltas, se lo determina al someterlo al choque con esferas de acero; cuyo número depende de la gradación del agregado. Los ensayos deben ser capaces de resistir el desgaste y degradación durante la vida útil de un pavimento drenante, la normativa recomienda un máximo de 25% de desgaste.

La gravedad específica se realizará según la normativa INEN_857 el cual consiste en determinar la densidad de una porción sólida de agregado pétreo representativa de las características de la muestra,

Las partículas planas y alargadas se realizarán bajo la norma ASTM D4791-99, esta característica del agregado puede interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales. La normativa recomienda un máximo de 10% para este tipo de partículas.

El ensayo de sanidad de agregados por sulfato de sodio según la normativa ASTM C 88-99 permite juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra, la normativa exige un máximo de 12% de pérdida total.

Los agregados pétreos empleados en el diseño de la mezcla asfáltica del presente trabajo provienen del sector del Cerro Guayabal Cantera Uruzca y la arena de río se la obtiene del Cantón Balzar, previamente

estos materiales han sido calificados como aceptables para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Material Bituminoso

El material bituminoso es fundamental para el diseño de mezclas asfálticas, sean o no drenantes. Comercialmente en nuestro medio obtenemos el AC-20, sin embargo en otros lados se encuentran de otros tipos con otras características, de forma general este material debe de cumplir los requerimientos de normas como lo indica la ASTM y el MTOP. Se obedecerá a los siguientes requerimientos para realizar un diseño de mezcla asfáltica drenante.

Tabla 3: *Requerimientos para el asfalto, según MOP y ASTM* Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO	VALOR OBTENIDO	NORMA
Penetración (1/10mm)	60 Min	75.22	MTOP 001-T810.2.2.2
Ductilidad (cm)	>100 cm	120.00	MTOP 001-T810.2.2.3
Punto de Reblandamiento (°C)	48-75°C	50.65	MTOP 001-T819.2.2.7
Punto de Inflamación (°C)	232 Min	283.00	MTOP 001-T810.2.2.5
Punto de combustión (°C)	N/A	298.00	ASTMD 113-99
Gravedad Específica (g/cm ³)	>=1	1.00	MTOP 001-T810.2.2.1

Aditivos y Polímeros

Añadir aditivo y/o polímero al asfalto es beneficiosos debido a que estos según la composición que poseen van a ser positivos en las mezclas asfálticas. Por ejemplo, el Kaomin 14 es un tipo de aditivo que le da valores mayores de estabilidad a la mezcla sin modificar las propiedades iniciales del asfalto, haciendo que la mezcla sea menos susceptible a daños, fisuras y agrietamientos. En cuanto a los polímeros existen una gran variedad según las propiedades de que están hechos, el polímero

SBS 411 este actúa de manera positiva en el comportamiento de mezclas drenantes debido a las propiedades que brinda como aumento de la cohesividad, disminución en deterioro por permeabilidad, aumento de la durabilidad de la mezcla entre otros.

Metodología de diseño

Las mezclas asfálticas drenantes se diseñan a partir de probetas cilíndricas tipo Marshall, aunque existe mucha similitud en el proceso de elaboración con mezclas tradicionales, toman un camino diferente al habitualmente empleado con el procedimiento Marshall.

Para el caso de las mezclas drenantes, los niveles de tráfico para los que se recomienda su uso con tráfico medio y pesado. Para un tráfico medio se requiere de 300.000 a 10 millones de ESALs y para un tráfico alto se requiere más de 10 millones de ESALs, este número de ESALs se conocen mediante la realización de un estudio de tráfico promedio diario anual (TPDA) que permite conocer el volumen de vehículos que pasarán por una vía y así determinar el total de ejes equivalentes que corresponden a los ESALs. Asumiendo que existirá un nivel de tráfico medio se procederá a realizar el diseño de mezclas asfáltica drenante una vez verificada las características del asfalto y agregados.

De acuerdo al análisis granulométrico llevado a cabo en el laboratorio, se obtiene una curva que debe de encontrarse dentro de los límites de la especificación, para así definir un porcentaje de cada agregado que se colocará en el diseño de la mezcla. Una de las partes más importante para el diseño es tener en cuenta la limitación que existe en cuanto al porcentaje de mezcla asfáltica que se recomienda, por lo que se debe de realizar briquetas mediante el método Marshall según el rango de porcentaje de asfalto que se recomienda. Según Padilla Rodríguez (2015) la dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro y medio por ciento (4.5%), respecto del peso seco de los agregados.

Para la elaboración especímenes con mezcla asfáltica drenante se utilizarán varios porcentajes de asfaltos, por ejemplo, con 4%, 4,5% y 5%, ensayando y comprobando mediante laboratorio donde finalmente se conocerá con cuál de estos porcentajes de asfalto la mezcla demuestra excelentes comportamientos físicos al momento de ser comparados con las normativas vigentes.

Para la selección del contenido óptimo de asfalto en la mezcla se establecen los siguientes 4 criterios:

1) Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos de acuerdo al procedimiento establecido ASTM T 269, no deberán ser inferiores a veinte por ciento (20%), ni mayores de veinticinco por ciento (25%).

2) Según la norma INVIAS, para asegurar que los vacíos con aire estén debidamente interconectados, se realizará una prueba de permeabilidad. La capacidad de drenaje se medirá colocando cien mililitros (100 ml) de agua en un molde conteniendo la probeta pre humedecida. El tiempo que tarde el agua en atravesar la muestra no deberá exceder de quince segundos (15s).

3) Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25°C) determinadas de acuerdo a la normativa NTL-352, no deberá ser superior a veinticinco por ciento (25%).

4) Se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia del agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo de cántabro, según la normativa NTL-352, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24h) a sesenta grados Celsius (60°), no podrá exceder de cuarenta por ciento (40%). Si se supera este valor, se deberá mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia.

Gravedad específica Bulk

Para el caso de las mezclas drenantes, la densidad Bulk se calcula de manera diferente al procedimiento de las mezclas densas. Se determina la densidad Bulk a partir de su masa (g) y su volumen (cm³). Se mide la altura y diámetro de las briquetas en 4 sitios diferentes con precisión y se calcula el promedio de cada medición, con los valores promedio de altura y diámetro se calcula el volumen de la briketa. Se debe transformar la densidad Bulk en gravedad específica Bulk, se debe dividir para el peso específico del agua a 25 °C (0.99807 g/cm³), se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de la bulk.

$$G_{eb} = \frac{\text{Densidad } \left(\frac{g}{cm^3}\right)}{\text{Peso Específico del agua a } 25^{\circ}C \left(\frac{g}{cm^3}\right)}$$

Gravedad específica máxima teórica o RICE

Se determina la gravedad específica máxima teórica o RICE se calcula en base a la norma ASTM D 2041, se realiza a una muestra suelta que se denomina como la relación entre la masa de un volumen de mezcla sin compactar y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida, sin considerar los vacíos que existan entre las partículas cubiertas de asfalto. Para realizar el ensayo se prepara la mezcla hasta una temperatura a la cual las partículas sean desprendibles manualmente, evitando fracturar el peso agregado, luego se obtiene un peso de esa muestra llamado "A". Posteriormente se coloca la muestra en un picnómetro, se cubre la muestra con agua a 25 °C, y se lleva a la máquina de vacíos durante un periodo de 15 minutos con una presión que se encuentre entre 25 a 30mmhg. Una vez que se extrajo el aire atrapado en la muestra, se procede a llenar completamente el picnómetro con agua destilada a 25 °C cuidadosamente para que no vuelva a introducirse en la mezcla, se seca externamente el picnómetro y se pesa, a este valor se denomina "E". También se deberá pesar el picnómetro lleno de agua sin muestra,

a esto se le denomina “D”. La ecuación para determinar la gravedad específica máxima teórica es la siguiente.

$$Gem = \frac{A}{A + D - E}$$

Contenido de vacíos

El porcentaje de vacíos se calcula según la normativa INV E-736-07 con los valores de la gravedad específica bulk y la gravedad específica máxima teórica para cada contenido asfáltico. El diseño de mezclas asfálticas drenantes se basa en el contenido de vacíos y no en la estabilidad y flujo, como en las mezclas densas, entonces en base a este criterio se determinó el porcentaje óptimo de asfalto de diseño. Partiendo del criterio establecido en las normativas INVIAS y NTL, el porcentaje de vacíos necesario está comprendido entre el 20 y 25% se deberá verificar que ese porcentaje de vacíos se encuentre dentro del porcentaje de asfalto que se recomienda, ya que con esto se estaría garantizando que la mezcla posee características drenantes al contener partículas entre conectadas entre sí. Se determina el contenido de vacíos mediante la siguiente expresión.

$$Va = 100\left(1 - \frac{Geb}{Gem}\right)$$

Estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad Marshall evalúa la carga bajo la cual el espécimen falla y el flujo la deformación que esta sufre, es importante conocer la resistencia (estabilidad) y la deformación (flujo) que tendrá la muestra ante la aplicación de una carga. Este ensayo generalmente se aplica en las mezclas densas, pero como una manera de verificar el trabajo realizado también se ejecutará en mezclas drenantes. Las briquetas son sometidas a baño maría por 30 minutos a una temperatura de 60°C. Se colocan las muestras en la mordaza y se introduce la máquina de

compresión, se ajusta el medidor de carga en cero y se coloca el otro dial de flujo en la barra de guía para medir la deformación. Se aplica la carga a la muestra con una velocidad constante de movimiento para el cabeza de máquina de ensayo de dos pulgadas por minuto. Cuando el medidor de carga se detiene, carga máxima, se debe retirar el medidor de flujo y tomar la lectura. El tiempo transcurrido desde la retirada de la muestra del baño maría no deberá exceder de 30 segundos.

Prueba de permeabilidad

En la normativa colombiana INVIAS se da como tópico la verificación de algunas características para garantizar que la mezcla asfáltica sea drenante, aunque no existe un ensayo en sí, en esta normativa, para realizar esta prueba, se puede ejecutar un proceso complementario a fin de comprobar que los poros de la mezcla se encuentran interconectados y cumpla la función principal de ser drenante. La prueba es muy sencilla de realizar, se coloca 100 ml de agua sobre la briqueta previamente humedecida y se toma el tiempo que el agua tarda en atravesar la muestra, este tiempo no debe ser mayor a 15 segundos. Se debe realizar cuando la muestra se encuentra dentro del molde Marshall para evitar escurrimiento de agua.

Ensayo cántabro seco

Para llevar a cabo el ensayo de cántabro se debe de seguir los siguientes pasos según la norma NTL-352: con la composición granulométrica ya definida se preparan mínimo 4 probetas, para cada contenido de asfalto, las porciones de agregados se secan en el horno a una temperatura de 105 a 110 °C, se calienta el asfalto hasta alcanzar una viscosidad que permita un buen mezclado sin escurrimiento, con una cantidad de 1000gr se fabrican las probetas, se compacta la muestra con el martillo y moldes Marshall, dando 50 golpes por cara a cada probeta, a cada probeta se

le realizan ensayos de densidad y vacíos siguiendo un procedimiento geométrico, se pesa cada probeta y se ubican en el bombo de los ángeles sin carga abrasiva a 300 vueltas a una temperatura de 18 a 25 °C, se pesa la probeta y se calcula la pérdida de peso en porcentaje respecto al peso inicial.

Se pesa la muestra antes del ensayo y se registra como P1, posterior al ensayo se pesa nuevamente y se registra como P2. El cálculo de la pérdida por desgaste se realiza a cada briqueta ensayada, utilizando la siguiente.

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Resultados y discusión

Con la finalidad de comprobar la factibilidad de realizar un diseño de mezcla asfáltica en base a la metodología de ensayo Marshall y Cántabro, se evidencia como resultado a continuación 3 diseños de mezcla asfáltica drenante modificando el asfalto en base a aditivo y polímeros. Una vez realizada la caracterización de los agregados en base a los ensayos especificados en la Tabla 1, se procede al diseño de la mezcla asfáltica. La granulometría de los agregados y los límites mínimos y máximos que indica la especificación, permite realizar la dosificación de los agregados de tal forma que la granulometría de la mezcla se encuentre dentro de los límites especificados en la tabla 2.

Granulometría	Abertura	Agregados			Especificación			Mezcla
		3/4"	3/8"	Arena	Min	Max	Tolerancia	
3/4"	19,00	100	100	100	100	100	± 4	100
1/2"	12,70	33,3	100	100	70	100	± 4	80
3/8"	9,50	7	100	100	50	75	± 4	62
4	4,75	0,1	9,35	98,7	15	32	± 3	24
10	2,00	0,07	0,25	95,4	9	20	± 3	13
40	0,425	0,07	0,25	36,1	5	12	± 3	7,6
200	0,075	0	0	0,3	3	7	± 1	2

Tabla 4: Granulometría de los agregados, faja granulométrica, granulometría de la mezcla Fuente: Elaboración propia

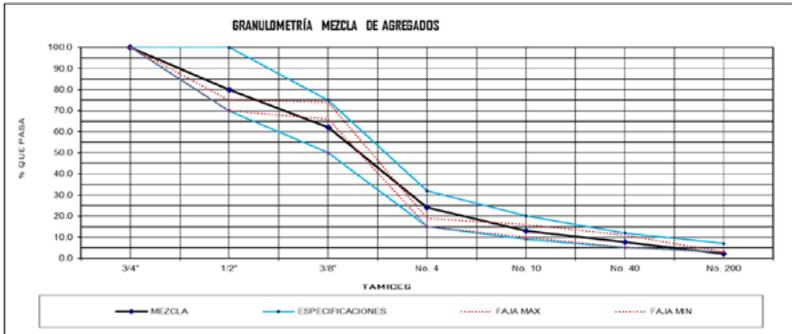


Figura 1: Granulometría de la mezcla drenante

Tabla 5: Dosificación de los agregados Fuente: Elaboración Propia

Dosificación	
3/4"	31
3/8"	56
Arena	13
Total	100

Conociendo la dosificación del material, se procede a la elaboración de briquetas conforme a la metodología Marshall de los cuales se obtuvo lo siguiente:

Densidad / Porcentaje de Vacíos

Tabla 6: Resultados de densidad bulk, rice y porcentaje de vacíos Fuente: Elaboración Propia

	Descripción	4%	4,5%	5%
Sin Aditivo	Bulk	1,911	1,914	1,941
	Rice	2,525	2,504	2,500
	%Vacíos	24,31 %	23,59 %	22,37 %
Aditivo	Bulk	1,953	1,958	1,962
	Rice	2,538	2,521	2,479
	%Vacíos	23,05 %	22,32 %	20,88 %
Polímero SBS	Bulk	1,914	1,940	1,950
	Rice	2,479	2,459	2,427
	%Vacíos	22,80 %	21,13 %	19,64 %

Como se observa en la tabla 6, correspondiente al porcentaje de vacíos de los distintos diseños de mezcla drenante, se obtiene que todos a excepción del diseño con polímero y 5% de asfalto se encuentran dentro de la normativa como lo indica la INV que debe encontrarse entre el 20 y 25%. El diseño con polímero SBS tiene un menor porcentaje de vacíos al resto debido a que existe mayor cohesión entre partículas por el uso de aditivo y sbs.

Estabilidad / Flujo

Tabla 7: Resultados de estabilidad y flujo Fuente: Elaboración propia

	Descripción	4%	4,5%	5%
Sin Aditivo	Estabilidad	1418	1856	1700
	Flujo	12	13	13,03
Aditivo	Estabilidad	1746	2111	1859
	Flujo	13,33	14	14,33
Polímero SBS	Estabilidad	2433	2223	2075
	Flujo	14	14,33	15,33

La tabla 7 indica la estabilidad y flujo de cada tipo de diseño, de esta manera se puede apreciar el comportamiento de cada tipo de diseño conforme al porcentaje de asfalto del cual se diseñó. El comportamiento del flujo en las mezclas asfálticas es casi lineal debido a que entre mayor sea el porcentaje de asfalto mayor es el flujo, a diferencia de la estabilidad.

Permeabilidad

Tabla 8: Resultados del ensayo de permeabilidad a los 3 diseños de mezcla asfáltica Fuente: Elaboración propia.

	4%	4,50%	5%
SA	8,37 s	9,53 s	11,80 s
A	8,73 s	9,70 s	11,93 s
SBS	9,03 s	9,93 s	12,33 s

La finalidad del ensayo de permeabilidad es comprobar que la mezcla cumple su función principal que es drenar, por lo que en la tabla 8 se presentan los datos obtenidos del tiempo en drenar 100 ml de agua en 15 segundos, sin embargo, el tiempo de drenaje en todos los diseños y porcentajes fueron menor a este.

Cántabro

Tabla 9: Resultados del ensayo de desgaste en seco. Fuente: Elaboración propia

Cántabro Seco	4%	4,50%	5%
SA	24,98 %	14,31 %	8,20 %
A	24,28 %	14,23 %	7,20 %
SBS	17,74 %	12,11 %	7,40 %

En las tablas 9 se presentan los resultados en cuanto al ensayo cántabro por desgaste de la máquina de los ángeles. La normativa indica que cuando se lo realiza en seco el desgaste no debe ser mayor al 25%, por lo que se comprobó que todos los diseños cumplen con la normativa sin embargo cabe recalcar que el diseño con SBS se comportó de mejor manera ya que el porcentaje de desgaste fue menor al de los demás diseños.

Conclusiones

1. La metodología Marshall y Cántabro son aplicables a los materiales locales para la elaboración de mezclas asfálticas drenantes, debido a que una vez realizado los 3 diseños con los diferentes porcentajes de asfalto y aditivo se logró obtener un porcentaje óptimo de asfalto para cada diseño y resultados que se encuentran dentro de las especificaciones.
2. La metodología Marshall permite conocer el porcentaje óptimo de asfalto en función del porcentaje de vacíos de la mezcla, por lo que se obtuvo que para el diseño con aditivo el porcentaje es de 4,95%,

con aditivo 4,41% y con polímero 4,09%. Aplicando la metodología Marshall a los diseños realizados (sin aditivo, con aditivo y polímero sbs) y basándonos en la media de 22,5% en porcentajes de vacíos todos los diseños cumplen con la normativa, sin embargo, en el caso del diseño sin aditivo el porcentaje de asfalto se encuentra cercano al máximo permitido por la norma INVIAS, por lo que no sería aplicable ya que en ese porcentaje de asfalto su estabilidad es muy baja y su flujo mayor lo que significa alta plasticidad y baja resistencia.

3. En el caso de diseño con aditivo el porcentaje de asfalto se encuentra en 4,41%, valor permitido por la norma INVIAS, posee valores adecuados en cuanto a la estabilidad y flujo ya que posee un mejorador de adherencia.

4. El diseño de mezcla asfáltica drenante con polímeros posee un porcentaje óptimo 4,09% siendo este el menor porcentaje de asfalto óptimo entre los 3 diseños ya que con ese bajo porcentaje posee altos valores de estabilidad y flujo por lo que se considera tendría un mejor desempeño ante las cargas y deformaciones producidas por el tráfico. Los desgastes presentados por diseño estaban dentro de la normativa, sin embargo, el diseño con polímero corresponde al de mejor comportamiento debido a sus menores porcentajes de pérdidas. Las mezclas asfálticas drenantes se diseñan también en base al criterio de permeabilidad, que para esta investigación fue válido en todos los diseños ya que se cumplió el tiempo de escurrimiento del agua en las briquetas.

Bibliografía

- Ayala Loza, M., Juárez Alarcón, I. (Noviembre de 2010). *Diseño de mezcla asfáltica drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador*. El Salvador.
- Carvajal Mora, J. E., Chicaiza Fuentes, J. P. (2016). *Diseño de mezcla asfáltica porosa para zonas de bajas temperaturas aplicada a mejorar la seguridad vial*. Sangolquí.
- Doré, G., Zubeck, H. (2009). *Cold Regions Pavements*. United States of America: McGraw-Hill Ed. 1.
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. En B. K. Ferguson, *Porous Pavements* (p. 567). New York: Taylor y Francis.
- Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V., Villalobos Davila, R. (1999). *Dosificación de mezclas asfálticas abiertas y drenantes empleando el método de ensayo cántabro de pérdida por desgaste*. México DF, México.
- Juárez Alarcón, I. E., Ayala, M. E. (2010). *Diseño de mezcla drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador*. San Salvador.
- Mora, G., Pérez, G. (1998). Comparación de mezclas asfálticas drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar. *Revista de la facultad de Ingeniería*, Universidad Militar "Nueva Granada", 76-86.
- Padilla Rodríguez, A. (2015). *Mezclas porosas y drenantes*. En *Mezclas asfálticas* (p. 26). México DF.
- WSDOT. (2008). *Pavement Guide Interactive*. En *Guide Interactive* Washington State Department of Transportation. Washington.

LA PRÁCTICA DE LA GEOTECNIA EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS CIVILES

Marguith Espín León

Docente en la Facultad de Ingeniería (Ingeniera de Minas, Máster en Ingeniería); Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Calle Jesús de Nazareth y Av. 9. Manta - Manabí - Ecuador; Teléfono: 062920168/ 0958604940.

Correo electrónico: marguithyanira@hotmail.com

Evángelos Manouris

Ingeniero Civil, Máster en Estructuras; Calle Jesús de Nazareth y Av. 9. Manta - Manabí - Ecuador; Teléfono: 0958604952/ 0958604940. Correo electrónico: manouris0@gmail.com

Resumen

El siguiente trabajo de Ejercicios de Geotecnia, se ha originado gracias a la necesidad de los estudiantes de ejercitar sus conocimientos en este campo. Para ello se ha trabajado en el tema de Cálculos de Esfuerzos en una Masa de Suelo, que comprenden el Esfuerzo de un suelo saturado sin filtración el Incremento del Esfuerzo Vertical debido a varios tipos de carga. El objetivo principal ha sido que se provoque en la estudiante la motivación suficiente para lograr combinar conocimientos básicos con el mundo de la práctica. Para llegar a obtener óptimos resultados, hemos hecho uso de conceptos básicos no tomados en cuenta por algunos libros y manuales que han estado a disposición de los estudiantes; para precisar, me refiero al campo de la simetría, aplicada al Cálculo de Esfuerzos de una Masa de Suelo. Resumiendo, se podría decir que lo planteado se hizo una realidad, gracias al afán aprendizaje que se

obtuvo con los estudiantes.

Palabras claves: Esfuerzos, Masa de Suelo, Simetría, Geometría, Trigonometría.

Abstract

The following work of Geotechnics exercises was originated due to the need of the students to exercise their knowledge in this field. This following topic have been worked on Calculations of efforts in a Soil Mass, and include: Effort of a saturated soil without filtration and Increased Vertical Effort due to various types of load. The main objective has been to provoke enough motivation in students to be able to combine several skills in the professional field. To achieve optimal results, we have made use of basic concepts which are not referenced in books which have been made available to students; For a specific, take de the field of symmetry, applied to the Calculation of Efforts of a Soil Mass. In short, it could be said that the question was made a reality, thanks to the eagerness of learning and the motivation of the students.

Key words: efforts, soil mass, symmetry, geometry, trigonometry.

Introducción

La situación crítica por la que atraviesan casi todos los países de América Latina en lo que a desarrollo científico se refiere, se debe a muchos factores entre los que cabe resaltar los siguientes:

- El largo tiempo que nos llevó liberarnos del yugo español. No se definió enseguida con la declaración de independencia de las tierras que hoy se expanden por el continente americano, sino poco a poco y muchísimos años después.

- La posición geográfica de nuestro suelo ha sido, uno de los puntos cruciales para que no se hayan originado necesidades especiales. Los grupos humanos que más se han desarrollado especialmente en el

ámbito social y el económico han sido, precisamente los que, debido al clima frío (países nórdicos), se obligaron a buscar nuevas fuentes de supervivencia. Una de estas fuentes fue la de los Hidrocarburos, importante para protegerse del frío y para su alimentación. Este fue el origen de una serie de descubrimientos que hasta hoy los ha llevado a ser países con un nivel de investigación de excelencia. Todo lo contrario, a los países de trópico.

- La idiosincrasia de nuestro país la cual es precisamente producto de este proceso de adaptación al medio que nos rodea.

El objetivo perseguido al escribir estas notas ha sido ofrecer a los estudiantes de Ingeniería Civil, que atienden a las clases, un apoyo a las explicaciones de estas, así como presentar un punto de partida en el estudio de la Geotecnia que les permita la lectura de otros textos más avanzados y de publicaciones más especializadas que los que se han usado en este primer parcial del segundo trimestre del año 2017.

Los resultados de este trabajo se reflejan en el cambio de actitud de parte de los estudiantes al darse cuenta de que son los actores principales para que esta labor se haya dado, el esfuerzo por parte nuestra para su motivación y para que tengan sed de ir más allá de lo conocido dio como resultado una lluvia de ideas para realizar una serie de ejercicios de cálculo de esfuerzos del suelo aplicando la simetría de las cargas.

Desarrollo

En un campo tan amplio como es el de la Ingeniería Civil, el acercarse a aclarar el comportamiento de la naturaleza, es algo que está ligado a las Ciencias Físicas mediante su simulación por un modelo matemático. Aquí, es donde entra en juego la etapa del conocimiento científico. Hay que contrastar las predicciones del modelo con la realidad (Jiménez et al., 1981). Una de las formas más usadas por la naturaleza para expresarse, es el suelo, en el cual, el constructor, producto de la evolución de la

humanidad, es el actor importante en el terreno ya que su labor consiste en dominarlo para adaptarlo a sus fines. Los objetivos del constructor están presentes en la obra en forma de estructuras, las mismas que han de ir cimentadas, así mismo hay otras estructuras que forman una unidad con el terreno como son los muros de sostenimiento, diques, etc. Parte también de estas estructuras, está la construcción de túneles u otras obras subterráneas, así mismo la construcción de canales y carreteras que constituyen un conjunto que hiere al terreno pero que finalmente estas estructuras tendrán la forma definitiva que necesitamos (Jiménez et al., 1981). El arte que sale de la mano del constructor usando varias técnicas para estas tareas, se llama geotecnia.

La Geotecnia tiene un esqueleto coherente y científico que está constituido por la Mecánica de Suelo y de las Rocas (Jiménez et al., 1981). La tarea de aplicar las matemáticas al estudio del comportamiento del suelo, se facilitó con la ayuda del libro de “Mecánica de las obras de tierra” de Karl Terzaghi (1925), con sus estudios se consiguió que numerosos ingenieros de toda una generación, cambiaran la orientación de sus vidas para dedicar sus conocimientos al estudio del suelo (Jiménez et al., 1981). Anterior a K. Terzaghi, encontramos a Boussinesq, el cual en 1885 trató de darnos una idea de cómo se distribuyen las cargas aplicadas en un terreno, aunque no llegó a darnos una imagen exacta, fue la base para que otros investigadores, se abrieran camino en este campo y nos dejó establecidas las fórmulas de distribución de tensiones que todavía usamos en la mayor parte de casos (Jiménez et al., 1981). La experiencia de un Ingeniero Civil basada en la Mecánica del Suelo, ha demostrado que no basta la observación simple y directa del suelo, y que debe ser guiada por una información previa que se puede obtener mediante la PRÁCTICA DE LA GEOTECNIA tanto en el laboratorio a manera de ensayos como también con ejercicios prácticos aplicando todos sus conocimientos de Cálculo que es la expresión lógica-matemática que permite anticipar

el resultado proveniente de datos ya conocidos (Jiménez et al., 1981). Como base para el siguiente trabajo, partiremos de las tres etapas que representan el estudio de la realidad (Jiménez et al., 1981). La observación fenomenológica, que es la experiencia sobre el comportamiento del suelo por los ingenieros civiles. 2. La teoría de la elasticidad, la cual encontró en la Mecánica de Suelos, un modelo aplicable a un sinnúmero de fenómenos. 3. El contraste del modelo con la realidad, que es donde entra el aspecto científico, se delimitará el campo de aplicación de la teoría elástica con la aproximación que pudiera esperarse. Se continúa mencionando que se ha partido y coincidido con el Sílabo de estudios de la ULEAM casi en su totalidad, ya que va a la par con la con la teoría de muchos libros de esta asignatura (ver Referencias Bibliográficas). Para cada problema real, la teoría de la elasticidad precisa que la delimiten y conformen según distintos submodelos, así en el presente trabajo se ha dado énfasis con unos modelos concretos, los cuales los se definirán de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de los modelos estáticos

ELASTICIDAD	NO LINEAL					
	LINEAL	Anisotropía- Anisotropía Transversal				
		Isotropía	Homogénea			
			Heterogénea	Capa Rígida		
		Multicapa				
		Módulos Variables		Lineal	General	
				No lineal	Winkler	
					Frohlich	
		Otros				

La teoría de la elasticidad con anisotropía transversal se ha desarrollado mucho teóricamente, pero en la práctica está poco sistematizada bajo la forma de ábacos y tablas para su aplicación inmediata y sobre todo para

definir unos parámetros geotécnicos para lo que no existen métodos. Debido a esto, este trabajo se ha basado en delimitar su aplicación a ELASTICIDAD- LINEAL-ISOTROPA Y HOMOGENEA. La elasticidad isótropa se caracteriza por parámetros básicos que ayudan a simplificar los tratamientos matemáticos, para que sea de mayor comprensión al estudiante de ingeniería civil. Estos parámetros básicos son el Módulo de Young y el Coeficiente de Poisson que dan un significado intrínseco de deformación volumétrica y distorsión (Jiménez et al., 1981). Dentro de la elasticidad isótropa, el modelo en el cual se ha usado es el llamado ESPACIO DE BOUSSINESQ, es decir, la línea ya antes mencionada de presuposición de que el suelo es elástico, homogéneo e isótropo. Al decir elástico, se supone que se restringe a la ley de HOOKE y el coeficiente de elasticidad es igual en tracción y en compresión, también suponemos que la materia que constituye el semiespacio tiene fuerza suficiente para responder elásticamente bajo las tensiones que provengan de cada punto del semiespacio (Jiménez et al., 1981). La representación del terreno es simplificada, pero es la única para los que se tiene resueltos la mayoría de problemas de distribución de tensiones y de allí su gran importancia. Dentro del espacio isótropo, se siguió el estudio del incremento de esfuerzo vertical debido a varios tipos de carga como son:

- Los causados por una carga puntual.
- Los causados por una carga en línea.
- Los causados por una carga de franja (ancho finito, longitud infinita).
- Esfuerzo vertical debajo del centro de un área circular uniformemente repartida su carga.
- Esfuerzo vertical causada por un área rectangularmente cargada.

Aprovechando las características del modelo que se ha seguido, es decir, del semiespacio de Boussinesq, y usando como base los varios tipos

de carga ya mencionados, se puede decir que se ha llegado a combinar el sentido matemático de la Simetría, con los cálculos matemáticos que Bussinesq usó para definir sus conceptos en los diferentes casos de estas teorías esfuerzos de cargas. De esta manera, el futuro ingeniero civil podrá enfrentar muchos casos derivados de esta fusión, ya que, en el campo profesional, son de variedad infinita. Muchas personas se han dedicado al estudio de la distribución de tensiones en el suelo debido a cargas. El resultado de su trabajo ha sido representado por medio de tablas de relación Esfuerzos con distancias, profundidades o constantes; así como de isobaras o bulbos, entre ellas las más conocidas son las de Fadum y las Cartas o mapas de Newmark. Todos estos métodos se usaron para llegar a encontrar los resultados del incremento de los diferentes esfuerzos por la acción de cargas de tal manera que, los estudiantes tuvieron a su disposición todo el material necesario para que se comparen los resultados y que, como futuros especialistas en este campo, sepan escoger el método que más se acerque a su caso particular. Sin embargo, se explicó que todos estos métodos, son aproximaciones a lo que en realidad representa el comportamiento del suelo y por tanto, las fórmulas de Boussinesq para estos tipos de carga, son la única arma más efectiva hasta el momento, ya que su cálculo, se basa en los parámetros de cada caso por separado. Todo este trabajo se ha realizado siguiendo el orden de la clasificación de esfuerzos en dependencia de los tipos de cargas. En nuestros cálculos no se tomaron en cuenta los esfuerzos transversales ya que sus valores son de magnitudes ínfimas en comparación a los valores de los esfuerzos verticales. Para efectos de cálculo, se ha tomado un elemento básico infinitamente pequeño derivado del total infinito teórico en el cual actúan varias fuerzas. Las figuras a continuación expresan en forma de gráfico, la base para el cálculo de esfuerzos debidos a cargas.

1. CARGA CONCENTRADA PUNTUAL (Braja, 1999)

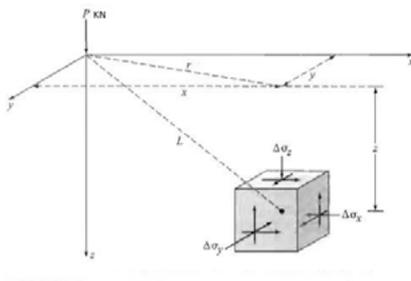


Figura 1: Esfuerzos en un medio elástico causados por una carga puntual.

Según Boussinesq, la solución para los esfuerzos verticales en un punto A causado por una carga puntual es:

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} * I_1, \quad I_1 = \frac{3}{2\pi} * \frac{1}{\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{5/2}}$$

2. ESFUERZO VERTICAL CAUSADO POR UNA CARGA EN LINEA (Braja, 1999)

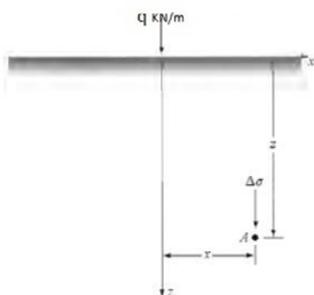


Figura 2: Esfuerzo vertical provocado por una carga en línea.

Boussinesq nos da para esta carga:

$$\Delta\sigma = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2}$$

3. ESFUERZO VERTICAL CAUSADO POR UNA CARGA FRANJA (ANCHO FINITO Y LONGITUD INFINITA) (Braja, 1999)

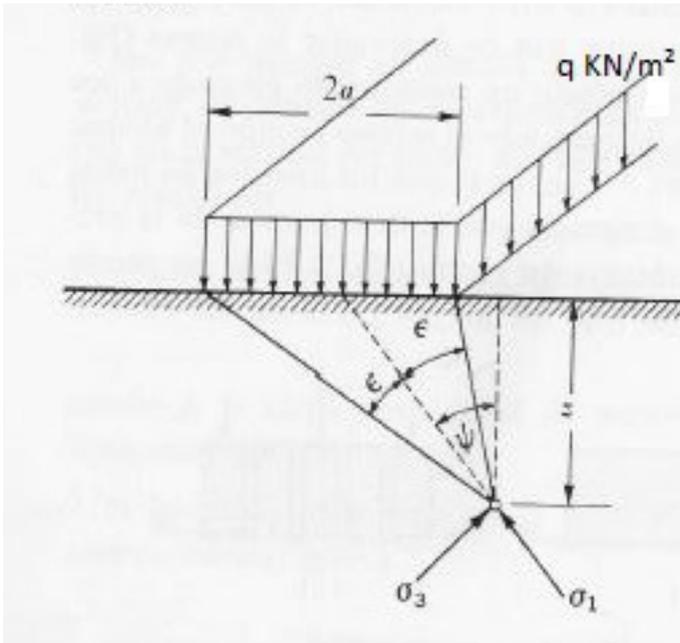


Figura 3: Esfuerzo vertical causado por una carga en franja de ancho finito y longitud infinita.

Para este caso tendríamos la fórmula:

$$\Delta\sigma = \frac{q\{\beta + \text{sen}\beta \cos(\beta + 2\delta)\}}{\pi}$$

4. ESFUERZO VERTICAL DEBAJO DEL CENTRO DE UN AREA CIRCULAR UNIFORMEMENTE CARGADA (Braja, 1999)

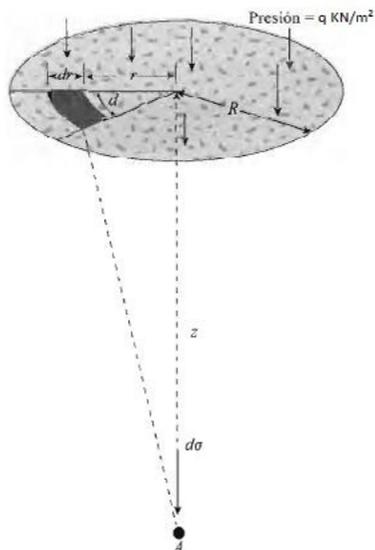


Figura 4: Esfuerzo vertical debajo del centro de un área circular uniformemente cargada.

La fórmula sería:

$$\Delta\sigma = q \left\{ 1 - \frac{1}{[(R/z)^2 + 1]^{3/2}} \right\}$$

5. ESFUERZO VERTICAL CAUSADO POR UN AREA RECTALUGARMENTE CARGADA (Braja, 1999)

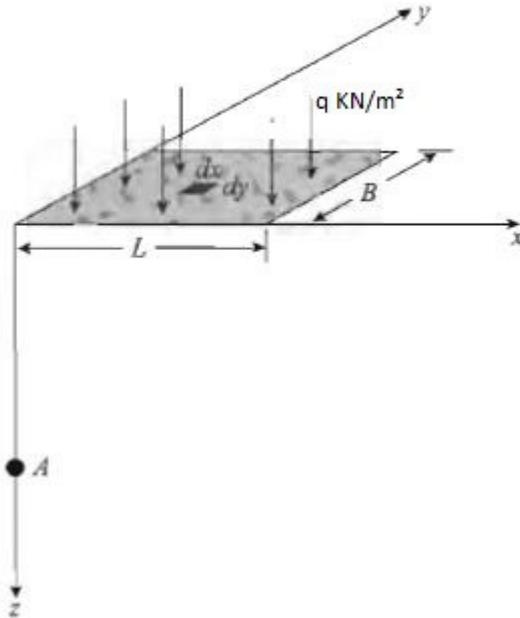


Figura 5: Esfuerzo vertical debajo del centro de un área circular uniformemente cargada.

La fórmula es la siguiente:

$$\Delta\sigma = q I_2$$

Conceptos básicos de simetría

Diríamos que Simetría es una correspondencia exacta en tamaño, forma y posición con respecto a ejes planos o tridimensionales.

Para efectos de nuestro estudio, hemos tomado en cuenta dos tipos

de simetría:

Simetría Triaxial: Es la simetría alrededor del eje, es conocida también con el nombre de rotacional o cilíndrica.

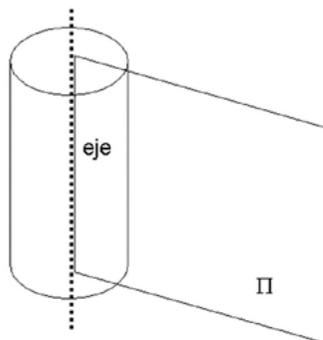


Figura 6: Simetría rotacional o cilíndrica.

Simetría Central: Es la simetría con respecto a un punto céntrico

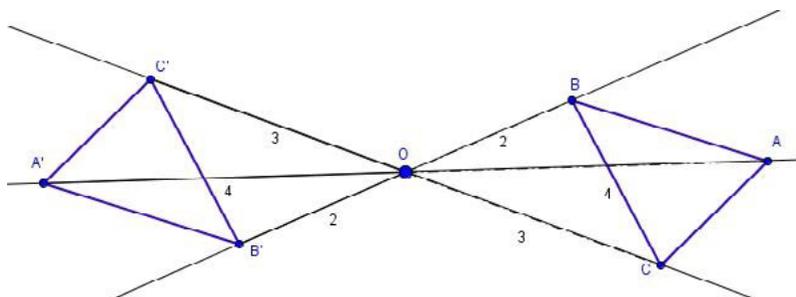


Figura 7: Simetría central.

Métodos

Una vez que hemos llegado a concluir la base teórica del programa actual de enseñanza con el programa de Geotecnia, se ha procedido a ampliar la parte práctica, con una serie de ejercicios, variantes a los ya dados en algunos libros de Geotecnia y Mecánica de Suelos, en donde

los ejercicios no son suficientes ni en cantidad ni en variedad.

Se entrelazó bases teóricas de esfuerzos en una masa de suelo, los tipos de esfuerzos provocados por diferentes cargas y, la posición de las cargas de forma geométrica en la superficie del suelo, de manera que, su Simetría llegó al grado de ser un factor importante a la hora de realizar los ejercicios y asimilar la teoría, más que nada, con el fin de facilitar y simplificar los cálculos. Al mismo tiempo se ayudó a que los señores estudiantes consideren la relación estrecha que existe entre el estudio de las Ciencias Físicas, con el mundo de las matemáticas en el cual se ven incluidas la trigonometría, la geometría que son claves para estos ejercicios.

Los conceptos de Simetría Triaxial se dan intrínsecamente en la fórmula de Boussinesq para la carga circular, y nosotros hemos aplicado el concepto de Simetría Central para los cálculos de los esfuerzos producidos por las cargas. Analizamos la simetría de las cargas, en dos y tres dimensiones con respecto a un punto A, por el que suponemos que pasan varios ejes.

En la Figura 8, damos un pequeño ejemplo del trabajo realizado y una pequeña reseña de cómo la Simetría fue utilizada con este objetivo.

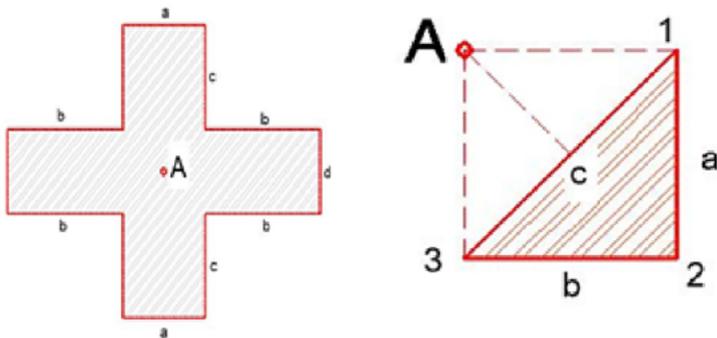


Figura 8: Simetría aplicada al Cálculo de Esfuerzos provocada por cargas.

Los ejercicios se basan en que el estudiante encuentre el incremento del esfuerzo vertical provocado por la carga trigonal en línea, o por la carga en la cruz (como en el ejemplo dado Fig. 8) mediante el uso de los diferentes métodos de cálculo que se les enseñó en clase, entre los cuales están las fórmulas de Boussinesq y para reducir los cálculos, hacer uso del método de simetría implantado por nuestro equipo de trabajo.

Conclusiones

1. En el intento de ofrecer a los estudiantes de Ingeniería Civil el material de apoyo para que tengan el punto de partida sólida en el estudio de la Geotecnia y que esta asignatura sea de completa utilidad tanto en su vida estudiantil como por supuesto en su vida futura, nació la SIMETRÍA APLICADA A LA GEOTECNIA.

2. Con esto, se logró la motivación suficiente para lograr combinar conocimientos básicos con el mundo de la práctica y así se obtuvieron óptimos resultados. Se abrió un camino nuevo de entretenimiento a nivel didáctico.

3. El trabajo realizado sobre la Simetría aplicada al cálculo de Esfuerzos por Cargas es INEDITO, es decir que no ha sido presentado algo parecido anteriormente en ningún manual ni libro alrededor de estas Ciencias como Geotecnia o Mecánica de Suelos, tampoco en ningún otro sitio o Universidad, y probablemente no esté presente en el mundo amplio del Internet, por lo tanto consideramos que es un orgullo presentarlo por medio de la Universidad ULEAM, que tanto está luchando por llegar a un lugar único en el mundo de la educación ecuatoriana.

4. Un agradecimiento especial, al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Civil, Ing. Darío Páez Cornejo por haberme dado la oportunidad y más que nada la libertad de trabajar en esta Universidad.

5. Y, por último, un agradecimiento a mi hermano, Ing. Aldrin Espín León y al Ing. Stalin Suárez, Ex Rector de la Politécnica de Quito.

Bibliografía

- Braja, M.D. (1999). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Editorial International Tompson Editors, SA.
- Dimitriou, T.V. (1985). *Mecánica de suelos*. Salónica, Grecia: Editorial: Hermanos Kiriakidi.
- Jiménez Salas, J.A.; De Justo Alpañez, J. L.; Serrano González, A. A. (1981). *Geotecnia y cimientos I y II*. Madrid, España: Editorial Rueda.

IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN EL ESTUDIO DE MOVIMIENTOS EN MASA (DESLIZAMIENTO PUERTO DE SAN MATEO)

Oleas Escalante Marcelo

Docente Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Vía San Mateo S/N, Manta, Manabí, Ecuador. 0984611669, marcelo.oleas@uleam.edu.ec

Resumen

La Supervisión de Estudios del MTOP Manabí realizó el Estudio de la Vía de Acceso al Puerto Pesquero de San Mateo en el 2010, tuvo como objetivos la vía y las soluciones para la estabilización de los taludes, la construcción se ejecutó en el 2012 sin cumplir las propuestas de soluciones, derivando en procesos Movimientos en Masa (MM) que produjo afectación a la vía de acceso a la población de San Mateo. El terremoto del 16 de abril de 2016, incremento los daños a esta vía y MM, con esa problemática se ejecutó una nueva propuesta de estabilización de estos taludes. La obra se realizó en el 2017, pero con el temblor de 6.8 grado Ritcher del 05 de diciembre de 2017 de acuerdo a información del Instituto Geofísico colapsó el tramo del talud estabilizado de la vía de acceso a la población. La presente investigación se realizó con el objetivo, de analizar la información tomada en campo, así como la existente de las diferentes evaluaciones de la estabilidad de talud de San Mateo en la Abscisa 0+070, para definir las causas del porque *fallo* el mismo. En el talud afloran lutitas diaclasadas y fracturadas sobreyacidas por niveles de capas de arena +/- 20 cm y depósitos de escombros, las condiciones de estos estratos las hacen fácilmente erosionables y que se produzcan MM. La principal causa del fallo del talud fue la no consideración en el

terraceo de las lutitas aflorantes que son de muy mala calidad por la presencia de grietas de tensión relacionadas con el alto diaclasamiento, fracturas y estratificación

Palabras Claves: Movimientos en Masa, diaclasas fracturadas, estabilidad de taludes, lutitas, limolitas.

IMPORTANCE OF GEOTECNIA IN STUDYING MASS MOVEMENTS (LAND SLIDE PORT SAN MATEO)

The Supervision of Studies of the MTOP Manabí realized the Study of the Way of Access to the Fishing Port of San Mateo in 2010, had like objectives the route and the solutions for the stabilization of the slopes, the construction was executed in the 2012 without fulfilling the proposals for solutions, resulting in Mass Movements (MM) processes that affected the access road to the town of San Mateo. The earthquake of April 16, 2016, increased the damage to this road and MM, with this problem a new stabilization proposal for these slopes was executed. The work was carried out in 2017, but with the tremor of 6.8 on December 05, 2017, the section of the stabilized slope of the access road to the town collapsed. The present investigation was carried out with the objective of analyzing the information taken in the field, as well as the existence of the different evaluations of the slope stability of San Mateo in Abscissa 0 + 070, to define the causes of why it failed. On the slope, diaclased and fractured shales overlying by layers of sand +/- 20 cm and debris deposits surface, the conditions of these strata make them easily erodible and that MM is produced. The main cause of the failure of the slope was the lack of consideration in the terracing the outcropping shales are of very poor quality due to the presence of tension cracks related to high diaclasings, fractures and stratification

Keywords: Mass Movements, fractured diaclases, stability of slopes, shales, siltstones

Introducción

La Geotecnia dentro del estudio de taludes es la parte fundamental porque a través de la mecánica de suelo y sus diferentes ensayos nos permite obtener las propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, para así entender el comportamiento de los suelos y rocas que permitirán el diseño de soluciones de prevención y mitigación para la delineación y construcción de obras de infraestructura duraderas.

En el Ecuador como en otros países existen ejemplos de obras de mitigación de taludes que han colapsado por factores no considerados en el estudio geotécnico.

La presente ponencia está concebida para analizar las causas del fallo de la solución de mitigación en la abscisa 0+070 del talud de la vía de acceso al Puerto Pesquero de San Mateo, en la ciudad de Manta de la provincia de Manabí.

Antecedentes

El ingreso a la población de San Mateo se lo realiza por un tramo de vía ubicado en la parte alta del perfil costanero y el acceso al atracadero de las pangas, anterior a ello ingresaba por la Av. San Mateo que presenta una pendiente longitudinal muy pronunciada y resulta peligroso para el tránsito del transporte pesado.

El Estado Ecuatoriano, planificó la Construcción del Puerto Pesquero en San Mateo que tendría una enorme importancia en el desarrollo económico de la zona, ya que de aquí saldrían productos de la pesca en vehículos de gran capacidad y por ello era necesario dotar de una infraestructura vial que permita su ingreso y salida con comodidad y seguridad.

Bajo este contexto se encargó a la Supervisión de Estudios del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, a través de la Subsecretaría Regional

4, Manabí para que le realice el “Estudio de la Vía de Acceso al Puerto Pesquero de San Mateo”, entre los años 2010 y 2011, que tuvo como objetivos principales el diseño vía y las soluciones para la estabilización de los taludes. La construcción de la vía se efectuó en el año 2012, sin cumplir con las propuestas de soluciones de estabilización taludes, está inacción derivó en procesos de Movimientos en Masa (MM), que produjeron afectación a las vías de acceso a la población y puerto de San Mateo. El terremoto del 16 de abril de 2016, incremento los daños a esta vía y la presencia de MM, con esa problemática la Supervisión de Estudios ejecutó una nueva propuesta de estabilización de estos taludes y algunos sitios en el tramo San Mateo-Manta de la ruta del Spondylus. La obra se realizó en el 2017, pero con el temblor de 6.8 del 05 de diciembre de 2017 colapsó el tramo de la abscisa 0+700 del talud estabilizado afectando el medio carril de la vía de acceso a la población; la solución construida en esta abscisa no fue la planteada por la Supervisión de Estudios, y se ejecutó la planteada por fiscalización de esta obra.

Planteamiento del problema

El estudio geotécnico de un talud, debe considerar todos aspectos físicos, mecánicos geológicos e hidráulicos que permitirán obtener los datos para buscar la mejor solución para la estabilización del talud, sin embargo, en la construcción de la solución para la estabilización talud de la abscisa 0+070 se obvió la solución geotécnica planteada por la Supervisión de Estudios, para construir la determinada por la fiscalización de la obra, en la misma no se consideró el comportamiento mecánico de las lutitas diaclasadas y fracturas, aspecto que desencadenó en el deslizamiento de este tramo estabilizado. En el talud después de la limpieza del material deslizado se identificó grietas de tracción que son indicativo de que se continúa desplazando, siendo necesario que se continúe *con* el movimiento del material que comprende las lutitas

diacalzadas hasta el nivel de la vía de acceso al Puerto Pesquero de San Mateo para plantear una solución final en función del talud desbancado.

Justificación

La presente investigación busca analizar la información existente de las evaluaciones de talud de San Mateo en la Abscisa 0+070 así como la tomada en campo, para definir las causas del porqué falló el mismo, para posteriormente plantear una posible solución. Por lo tanto, esta investigación permitirá comprender la importancia de considerar todos los aspectos geotécnicos tanto de los suelos como de las rocas.

Objetivo

Analizar la información tomada en campo, así como la existente de las diferentes evaluaciones de la estabilidad de talud de San Mateo en la Abscisa 0+070, para definir las causas del por qué falló este talud.

Desarrollo.

Ubicación:

El talud en mención, se localiza a 700 m del Puerto de San Mateo, cantón Manta al Sur Oeste de la Provincia de Manabí, coordenadas UTM-WGS 84 (523.521, 9'894.000) (ver figura 1)

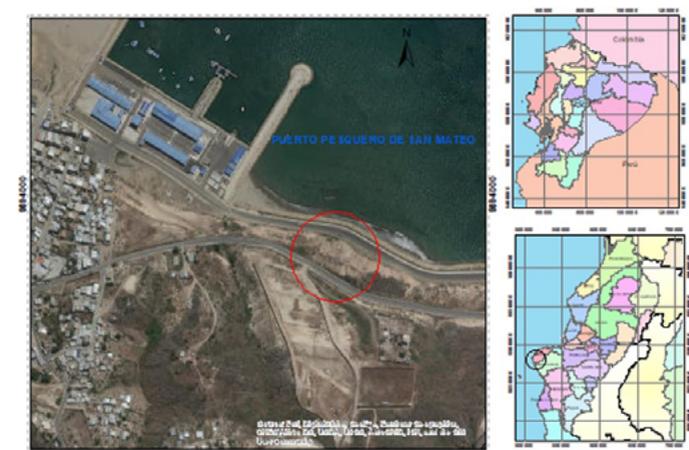


Figura 1: Mapa de ubicación deslizamiento de San Mateo

Metodología

La metodología utilizada consistió en las siguientes fases:

Trabajo de campo. - Descripción litológica y morfológica de la zona inestable, seguida por el análisis cualitativo geotécnico, así como también de los factores condicionantes y detonantes que originaron el deslizamiento, como equipos se utilizaron GPS, martillo, brújula, penetrómetro de bolsillo y cinta métrica.

Para la determinación de la calidad geotecnia se utilizó el método de la clasificación RMR (Bieniawski, 1972) y con el sistema Q (Barton et al., 1974).

Trabajo de oficina. - Procesamiento, validación, sistematización y análisis de los datos recolectados en el campo y análisis de la información existente de las diferentes evaluaciones de talud de San Mateo en la Abscisa 0+700.

Elaboración de memoria Técnica, estableciendo los resultados discusiones y las respectivas conclusiones.

Geología y Morfología

En la zona afloran rocas de origen sedimentario, de color café verdoso, de grano fino, tienden a ser lutitas pertenecientes a la formación San Mateo de edad Eocénica; a estas rocas sobre yacen rocas meteorizadas de color café cremoso de grano fino, con clastos redondeados y subredondeados, arenas y gravilla pertenecientes a terrazas marinas del Período Cuaternario; entre estas dos capas es posible identificar algunos niveles de capas de +/- 20 cm. de una arenisca de grano fino a medio, medianamente compactada.

Las rocas del talud afectado presentan capas estratificadas de lutitas con rumbo hacia el NO y buzamiento con ángulos de 10° a 45° hacia el NE, se encuentran fuertemente diaclasadas y fracturadas producto de procesos erosivos como el viento, pérdida humedad y factores como la orogenia ascenso de fluidos que cristalizaron y se encuentran presentes en muchas de las diaclasas, estas rocas en algunos sectores están en contacto con afloramientos esporádicos de limolitas masivas fracturadas (ver figura2).



Figura 2: Lutitas fuertemente diaclasadas y fracturadas.

El talud de acceso al Puerto de San Mateo, se encuentra fuertemente inclinado con pendientes de 47% a 70%; estos taludes tienen baja altura y no superan los 45 m. y la zona baja limita con la plataforma marina.

La morfología de terreno de la vía se considera de plano a suavemente ondulado de 0 %-15%.

Clasificación geotécnica del macizo rocoso

La determinación de la calidad geotécnica de la roca se realizó mediante el método de clasificación RMR (Clasificación Geomecánica) y con el sistema RQD (índice de Calidad de la Roca), observando el talud se identifica un sistema de discontinuidades relacionadas únicamente con diaclasas los espaciamientos son muy pequeños de centímetros considerando este factor se puede señalar como desfavorable para la estabilidad del talud. Las aberturas de las diaclasas se encuentran entre 1 y 5 mm, con relleno de material poco cohesivo, no tienen condiciones de agua subterránea se encuentran totalmente secas, la pertinencia de las diaclasas está entre 3 y 5 cm, el RQD (índice de Calidad de la Roca) estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1 m² es menor al 25% por lo que se le considera como una roca de muy mala calidad (ver figura 3).



Figura 3: Talud 0+070, lutitas fuertemente diaclasadas, con presencia de fracturadas.

Evaluación del talud abscisa 0+070

El talud del acceso al Puerto pesquero de San Mateo fue evaluado más de tres veces, la primera se realizó en el año 2010, en la misma se determina que entre las abscisas 0+520 - 0+870 (el cero se consideró entrada de la ruta del Spondylus) existe una gran incidencia por la caída de rocas, debido a que los afloramientos se encuentran diaclasados y fracturados. El juego de diaclasas está en dirección de la pendiente causando la caída de bloques que se evidencia en el material que se encuentra al pie del talud, el mismo que tiene un ángulo mayor a 50 grados. (Supervisión de Estudios, R-4-MTOP, 2010)

Una segunda evaluación la realiza la Supervisión de estudios a finales de 2016, y determina el apareamiento de un deslizamiento combinado señalando que “Este deslizamiento se ubica entre las abscisas 0+070 hasta la 0+110; la morfología del movimiento en masa evidencia un primer proceso que fue un deslizamiento traslacional, caracterizado por la presencia de un plano de falla de talud y grietas de tensión, cuyo asentamiento en la parte posterior afectó la vía principal de acceso a la

población de San Mateo, tiempo después se producen caídas de rocas de la zona del escarpe y del cuerpo del deslizamiento y finalmente flujo de detritos, que se acumula al pie de la vía de acceso al Puerto de San Mateo. (Supervisión de Estudios, R-4-MTOP, Nov. 2016)



Figura 4: Vía de ingreso a la población de San Mateo, rocas que se encuentran inestables las mismas son producto de un deslizamiento traslacional, grietas de tracción en el espaldón (Informe Supervisión de Estudios, R-4-MTOP, Nov-2016).

En julio de 2017 la fiscalización de la construcción de las soluciones A LAS REPARACIONES EMERGENTES DE LA VÍA MANTA-SAN MATEO, presentó un informe con la solución para la estabilización del talud de la abscisa 0+070, pero no se realiza una evaluación y únicamente se efectúa el análisis de estabilidad usando una correlación con los datos de ángulo de fricción y cohesión de la evaluación realizada por la Supervisión de Estudios.

En diciembre de 2017 la Supervisión de Estudios en conjunto con el Constructor, la Fiscalización, Supervisión y Administrador del Contrato de obra, realizan una evaluación del talud de la abscisa 0+070, una vez que la solución construida se deslizó después del temblor de 6.8 del 05 de diciembre de 2017. El deslizamiento del talud se considera rotacional, el desplazamiento vertical fue de aproximadamente 3m (ver figura 5), en el pie del talud se observó el hinchamiento de las lutitas fracturadas,

acción típica de los deslizamientos rotacionales (ver figura 6).



Figura 5: Fisuras en la vía presentadas después del sismo del 05/12/2017 y su posterior deslizamiento.



Figura 6: Deslizamiento ocurrido días después del sismo del 05/12/2017, nótese el hinchamiento del pie con la presencia de lutitas.

En los días 10 y 15 de enero de 2018 se realizaron visitas técnicas con los estudiantes de cuarto semestre de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manta, en estas visitas se observó, que se había realizado la remoción de la mayoría del cuerpo del deslizamiento, dejando la vía de acceso a la población de San Mateo a un solo carril en el tramo afectado.

En la visita del 10 de enero 2018 se identifica que existe desplazamiento horizontal de las lutitas diaclasadas y fracturas siguiendo uno de los planos de estratificación de estas rocas sedimentarias, el mismo que se corroboró en la terraza superior donde el desplazamiento horizontal se

encontraba en el orden de los 20 cm, y el desplazamiento horizontal en 15 cm, mientras que el 15 de enero se pudo observar que el desplazamiento se había incrementado a 40 cm en horizontal y 25cm en vertical ver (figura 7) .



Figura 7: Fisuras en el talud, foto el 10/01/2018 y su desplazamiento después de 5 días, observar la referencia de los círculos rojos.

Soluciones planteadas para la estabilización del Talud abscisa 0+070

Como parte de la evaluación técnica del talud de la abscisa 0+070, la Supervisión de Estudios planteó la construcción de un muro de tierra armada, los datos fueron tomados de forma indirecta a través de la geofísica realizada en el sitio teniendo los siguientes:

Tabla 1: Datos de cohesión y ángulo de fricción Tomado del informe (Supervisión de Estudios, R-4-MTOP, Nov-2016)

Estrato	Potencia (m)	Cohesión(c) Kg/cm ²	Angulo de Ficción (ϕ)
Uno	9- 10	0.14	26
Dos	> 30	0.82	40

Los datos obtenidos permitieron realizar el análisis mediante el programa MAC.ST.A.R.S 2000 obteniéndose un factor de seguridad global de 1.6 (ver figura 2)

Los criterios que se señalaba la evaluación del MTOP eran que “se construirá un muro de tierra armada sobre una terraza que se formará a -5 m desde la vía de acceso a la población de San Mateo; la parte superior muro y el borde de la vía, deberá tener una separación máxima de 0.50 m. (ver figura 8)

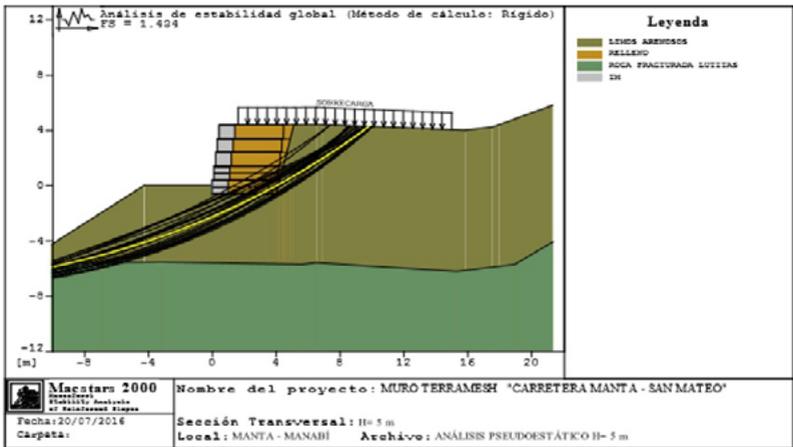


Figura 8: Análisis de estabilidad en la abscisa 0+070, tomado del informe (Supervisión de Estudios, R-4-MTOP, Nov-2016).

La fiscalización de la obra en julio de 2017 planteó como solución “realizar una reconformación del talud del área afectada; el cual consistirá en un reticulado de vigas de hormigón armado, y se colocará materiales de terrocemento”.

Además, señala que “como alternativa adicional para controlar la erosión será el de la reconformación del talud con material cohesivo y la colocación de geomanta reforzada”.

Para el análisis de factor de seguridad utilizaron el software GEO 5

y los datos de cohesión y ángulo de fricción que utilizan lo obtienen de tablas. Obteniendo un factor de seguridad 1.3 por el método de Fellinus (ver figura 9).

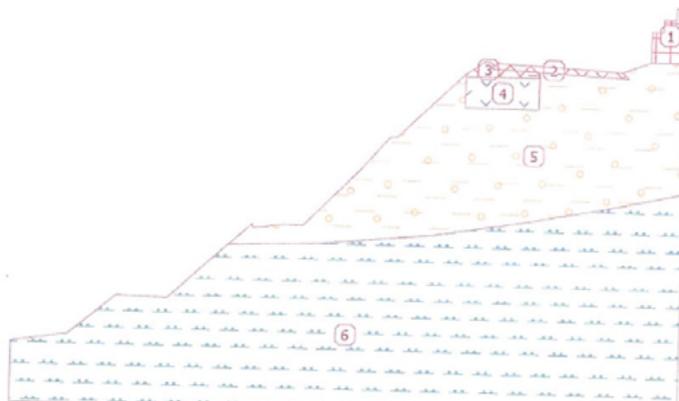


Figura 9: Análisis de estabilidad en la abscisa 0+070, tomado del informe (Fiscalización de la construcción A LAS REPARACIONES EMERGENTES DE LA VÍA MANTA-SAN MATEO, Julio-2017)

Resultados y discusión

El análisis de la información existente y la evaluación realizada en campo al deslizamiento en la abscisa 0+070 del talud de acceso al Puerto Pesquero Artesanal, permitió obtener una idea clara a las estratigrafías como la de este talud, siendo en estos casos necesario realizar un análisis más profundo, considerando diferenciar los suelos en los que se incluye los suelos residuales de la rocas sedimentarias, teniendo en cuenta que los comportamientos geomecánicos son distintos, el análisis de estabilidad de taludes en estos casos se considera que debe separarse suelos y rocas aplicando los diferentes métodos para cada uno en el caso del suelo se usa softwares que existen en el mercado como Geo5, SLOPE etc. o cálculos manuales como es el cálculo de dovelas. Pero en el análisis de las lutitas se debió realizar un estudio de mecánica de roca utilizando el método de Clasificación Geomecánica (RMR) junto con el sistema índice

de Calidad de la Roca (RQD). Al conocer la calidad de rocas la solución en ambas evaluaciones hubiese cambiado, ya que primero debía mejorar la calidad de las lutitas para poder realizar la estabilización del suelo.

El análisis del talud de la abscisa 0+070, permitió conocer el comportamiento geomecánico de las lutitas en este talud y como influyeron los desclasamientos y planos estratigráficos para que se produzca el fallo del talud, es importante señalar que no existió influencia de agua.

La solución más práctica es que se continúe *con* el movimiento del material que comprende las lutitas diaclazadas hasta el nivel de la vía de acceso al Puerto Pesquero de San Mateo para posteriormente levantar perfiles topográficos que permitan plantear una solución final que puede consistir en la recuperación de las terrazas con muros de soporte, jugando un papel importante el control de calidad del material, compactación de las terrazas y las soluciones hidráulicas.

Es necesario y fundamental el considerar todos los aspectos geotécnicos tanto de suelos y rocas, para este efecto se deben realizar todos los ensayos que correspondan, en caso de no poder realizar un ensayo es importante que para asumir datos de la literatura se tiene que tener claro los aspectos geológicos-geotécnicos del sector. Estos aspectos permitirán el no subestimar una obra de estabilización de talud.

Conclusiones

1. La información tomada en campo permitió comprender que en las diferentes valoraciones de estabilidad de talud de San Mateo en la Abscisa 0+070, no se consideró la evaluación de la calidad de las lutitas bajo el contexto de la mecánica de rocas. Este aspecto incidió en el análisis la estabilidad del talud.

2. El inicio deslizamiento del talud de la abscisa 0+070, tuvo como efecto detonante el sismo de 05 de diciembre de 2018 y como condicionante la mala calidad de la lutitas, además que se considera

que antes del terremoto las lutitas diaclasadas disminuyeron su calidad por efectos de la vibración que causaba la maquinaria para compactar el material de mejoramiento para la formación de las terrazas.

Bibliografía

- Barton, N., Lien, R. Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6: 189-236.
- Supervisión de Estudios, R-4-MTOP (2010). Vía Acceso a Puerto Pesquero Artesanal de San Mateo, pp. 15 y 16.
- Supervisión De Estudios, R-4-MTOP (2016). Evaluación geológico – geotécnica de las afectaciones causadas por el terremoto a la vía Manta-San Mateo, desde el redondel de la av. de La Cultura hasta la población de San Mateo.
- CONSULDISA (2017). Informe de la Fiscalización de la construcción a las reparaciones emergentes de la vía Manta-San Mateo.
- Melendez, F. (2001). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Paraninfo.

SUSCEPTIBILIDAD DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN LA ZONA TARQUI

Marcelo Oleas Escalante

Docente Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Vía San Mateo S/N, Manta, Manabí, Ecuador. 0984611669, marcelo.oleas@uleam.edu.ec

Cristhian Fabián Santana Chávez

Egresado Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Calle 110 y Av. 111 Manta, Manabí, Ecuador.

0967033446. crismatsan0716@gmail.com

Resumen

El 16 de abril de 2016 en la Costa Centro – Sur del Ecuador, se presentó un evento sísmico de magnitud considerable con epicentro en Pedernales provincia de Manabí, el cual provocó graves afectaciones a la infraestructura en la zona de Tarqui del cantón Manta.

Los suelos de la zona de Tarqui están conformados de sedimentos provenientes de aportes continentales desde las colinas, y otros como los aportes deposicionales marinos constituidos principalmente por sedimentos arenosos limosos, algunos de estos sedimentos provienen de deslizamientos antiguos desde las colinas sumado a las inundaciones permitieron que la forma morfológica de valle presente acumulación de material fino.

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la susceptibilidad de licuefacción de los suelos de la zona Tarqui. Para ello se utilizó los datos obtenidos mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), ensayos de clasificación del suelo, límites de Atterberg y el porcentaje de finos del suelo, para los cálculos se utilizó las metodologías

de Seed e Idriss (1971) y Tokimatsu Yoshimi (1983).

La investigación realizada permitió determinar que la zona de Tarqui presenta un potencial de licuefacción muy elevado, de acuerdo a las metodologías utilizada se pudo observar estratos licuables en doce perforaciones realizadas en diferentes partes de la zona de estudio, siendo la zona con mayor influencia las que presentaban estratos de suelo con un nivel freático entre 1m y 1,5 m.

Palabras Claves.- Licuefacción, Evaluación, SPT, Tarqui, Seed e Idriss, Tokimatsu Yoshimi.

SUSCEPTIBILITY OF LIQUIDATION OF SOILS IN TARQUI AREA

Abstract

April 16, 2016 at the coast Center - South of the Ecuador; a seismic event of great magnitude with epicenter in Pedernales province of Manabi, this caused serious damage to infrastructure in the area of Tarqui.

The soils in the area of Tarqui consist of sediments from continental contributions from the hills, and others such as the marine depositional contributions consisting mainly of silty sandy sediments, some of these sediments they come from ancient landslides from hills joined the floods allowed the morphological form of Valley present accumulation of fine material.

This research was carried out in order to evaluate the susceptibility of liquefaction of the soils of the area Tarqui. Data obtained through (SPT), trials of classification standard penetration test was used soil, Atterberg limits, and the percentage of fine soil, Seed and Idriss (1971) methodologies was used for calculations and Tokimatsu Yoshimi (1983).

The investigation made it possible to determine that Tarqui area has a very high potential for liquefaction, liquefiable layers in twelve boreholes in different parts of the area could be observed according to

the used methodologies of study, being the area with greatest influence that had layers of soil with a water table between 1 m and 1.5 m.

Keywords: Liquefaction evaluation, SPT, Tarqui, Seed and Idriss (1971), Tokimatsu Yoshimi (1983).

Introducción

La licuefacción de los suelos se caracteriza por la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante en presencia de cargas cíclicas provocadas por eventos sísmicos, de tal forma que el suelo se comporta transitoriamente de estado sólido a un estado líquido, lo que conlleva a que la capacidad portante del suelo sea incapaz de soportar cualquier tipo de infraestructura que se encuentren sobre él. Fue en 1906 en San Francisco que se realizó el primer registro oficial de este fenómeno debido a un evento sísmico de magnitud considerable, pero no fue sino hasta en los años 30 que se realizó la investigación para explicar cómo se comporta el suelo ante este evento, por parte de Arthur Casagrande.

El Ecuador geográficamente, forma parte del “Cinturón de Fuego del Pacífico”, que es una zona considerada de alta sismicidad en el mundo, es por ello que ha sufrido eventos sísmicos considerables a lo largo de su historia. El evento sísmico del 16 de abril de 2016 con epicentro en Pedernales provincia de Manabí provocó graves afectaciones en la zona de Tarqui, donde el suelo fue uno de los factores que influyeron en el colapso de estructuras y que dejaron cientos de víctimas mortales; es por ello que se debe realizar el estudio de esta zona constituida en su gran parte por suelos arenosos y con un elevado nivel freático.

La zona Tarqui posee las características necesarias para producirse licuefacción; por lo que se debe recopilar y realizar los estudios necesarios para verificar si es susceptible a dicho evento, se debe realizar ensayos de campo y laboratorio, revisar las tipologías más relevantes del área de estudio obteniendo la información geotécnica y sísmica para determinar

la susceptibilidad de la misma.

Antecedentes

Se estima que el factor más considerable para que se produzca el fenómeno de licuefacción de los suelos es la presencia de un movimiento sísmico. Se ha determinado mediante varios estudios que la licuefacción genera diversos tipos de fallas en las obras de ingeniería.

Ecuador por su ubicación geográfica se encuentra en una zona de sismicidad elevada, por ello a lo largo de su historia se han presentado múltiples sismos. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, s.f.).

Los sismos de mayor intensidad que se han registrado en las costas ecuatorianas han sido los siguientes:

- 31 de Enero de 1906 en la provincia de Esmeraldas, se produjo un sismo con magnitud de 8.6 en la escala de Richter (Instituto Oceanográfico de la Armada, s.f.). Otras fuentes dan magnitudes de 8.7 y 8.9 en la escala de Richter, causó daños severos en esta provincia y en otras localidades. Generando profundas grietas, por donde emanó agua y arena, efectos de la licuefacción de los suelos.
- 2 de octubre de 1933 (frente a la Libertad en la Península de Santa Elena), se produjo un sismo con magnitud de 6.9 en la escala de Richter. En La Libertad se produjeron fuertes oscilaciones del nivel del mar inmediatamente después del terremoto.
- 12 de diciembre de 1953 en la provincia de El Oro, se produjo un sismo con magnitud de 7.8 en la escala de Richter, ocasionando mayores daños en la provincia de Loja y menos proporción en las provincias del guayas y de El Oro.
- 19 de enero de 1958 en la provincia de Esmeraldas, se produjo un sismo con magnitud de 7.8 en la escala de Richter, causó el

colapso de viviendas antiguas, derrumbes y deslizamientos en cerros.

- 12 de diciembre de 1979 en la provincia de Esmeraldas, se produjo un sismo con magnitud de 7.9 en la escala Richter, el cual produjo un tsunami que ocasionó graves daños en el territorio colombiano y en el Ecuador los daños fueron leves.
- 4 de agosto de 1998 en la costa de Bahía de Caráquez, se produjo un sismo con magnitud de 7.1 en la escala de Richter, el terremoto ocasionó severas consecuencias en la provincia de Manabí, gran destrucción de edificios en Bahía de Caráquez, y daños graves en Canoa, San Vicente y otras localidades cercanas. En otras ciudades de Manabí los daños fueron de menor proporción.
- 16 de abril de 2016 en Pedernales provincia de Manabí, se produjo un sismo con magnitud 7.8 en la escala de Richter, causó lamentables pérdidas humanas y grandes pérdidas económicas, este evento provocó hundimiento de carreteras y terraplenes, asentamientos de estructuras y desplome de viviendas.

Planteamiento del problema

El Ecuador por su ubicación geográfica posee alta sismicidad (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, EPN), lo que nos indica que puede existir la presencia de licuefacción de los suelos, por consiguiente, es necesario realizar estudios que permitan evaluar la susceptibilidad de riesgo a la licuefacción que se puede presentar en la zona de estudio para poder predecir y reducir los grandes efectos destructivos que provoca en las estructuras.

Los suelos de la zona de Tarqui ubicados en el cantón Manta, cercanos al mar, se caracterizan por poseer suelos arenosos y areno limosos saturados en agua, debido a su nivel freático elevado; estos son factores que nos indican que el suelo tiene una alta probabilidad de riesgo a la

licuefacción ante la ocurrencia de un sismo, puesto que se conoce que la licuefacción del suelo se observa principalmente en lugares cercanos a ríos, borde costero u otros cuerpo de agua. Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas y zonas de humedales.

Justificación

Uno de los procedimientos técnicos más importantes que se debe realizar en toda obra de ingeniería es el estudio del suelo, debido a que el suelo es la base de soporte que brindará la seguridad de las obras de ingeniería; por ello es necesario realizar los estudios correspondientes para analizar la susceptibilidad de licuefacción de los suelos al momento de diseñar edificaciones. De la misma manera uno de los propósitos de esta investigación es ampliar el conocimiento sobre la licuefacción de los suelos, debido a que afecta de manera directa a las estructuras ubicadas en zonas con alta sismicidad.

La finalidad de la investigación es determinar la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos de la zona de Tarqui y, si son propensos a la licuefacción. Por medio de ensayos de laboratorio, de campo (ensayo del SPT), y aplicando las metodologías de Seed e Idriss (1971), y Tokimatsu Yoshimi (1983); se podrán obtener parámetros geomecánicos para aplicar los diferentes criterios de susceptibilidad de licuefacción, determinando los factores que influyen en la licuefacción de suelos.

La zona Tarqui presenta las condiciones necesarias para que ocurra la licuefacción debido a esto es necesario realizar esta investigación, el evento sísmico que ocurrió el 16 de abril de 2016 de magnitud 7,8 en la escala de Richter provocó grandes daños en las edificaciones de la zona.

Objetivo general

- Determinar la susceptibilidad de licuefacción de los suelos de

zona Tarqui del cantón Manta, mediante estudios de suelo, ensayos de laboratorio y de campo (ensayo del SPT).

Objetivo específico

- Describir las características geológicas, geotécnicas del suelo en la zona de Tarqui del cantón Manta.
- Determinar las zonas donde los suelos son propensos a licuefacción para realizar las pruebas de campo y laboratorio.
- Analizar los resultados obtenidos en el campo y laboratorio para determinar si los suelos de la zona en estudio pueden presentar licuefacción, y proporcionar posibles soluciones.

Ubicación

- Localización: Manta, Manabí, Ecuador.
- Zona de estudio: Parroquia Tarqui (zona cero).
- Área aproximada: 29.5 ha.
- Características: Zona comercial y hotelera.

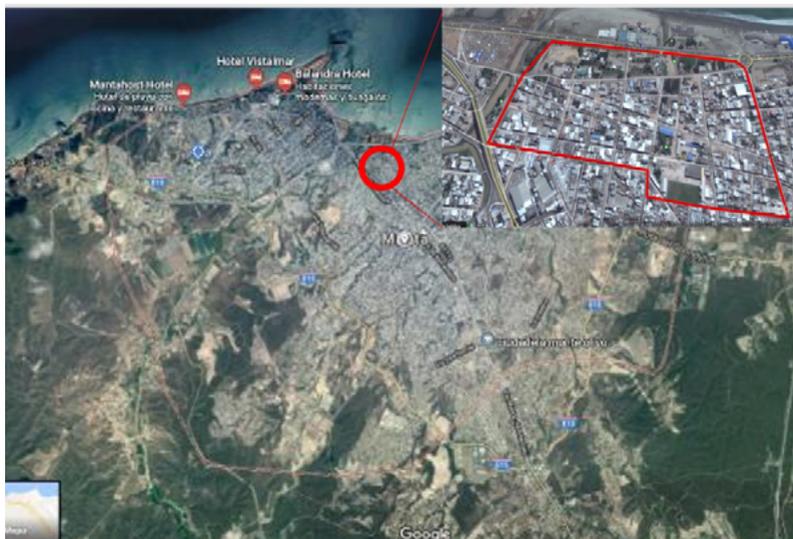


Figura 1: Localización de la zona de estudio. (Fuente: Google Earth).

Geología y geomorfología

Generalmente Manta es un área topográficamente plana, con una inclinación leve hacia el Norte; esto se debe a depósitos de arenas calcáreas

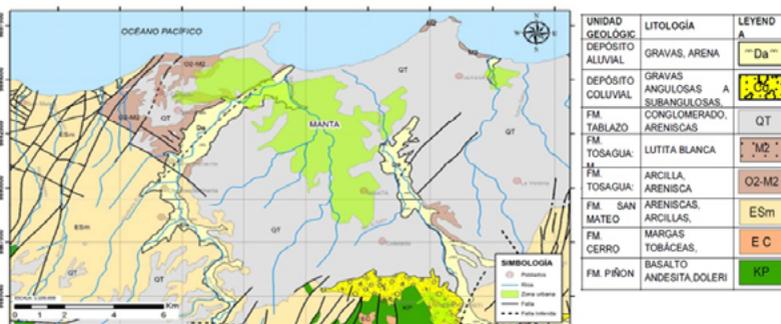


Figura 2: Mapa geológico y esquema de la zona en estudio. Tomada de la cartografía básica INIGEMM (GEOESTUDIOS, 2016).

La zona Tarqui de la ciudad de Manta, está compuesta de materiales erosionados y arrastrados de las colinas contiguas que se asientan en forma de depósitos coluviales. En el área de estudio el cantón Manta, es una estructura con orientación este-oeste, presenta terrenos cuyas elevaciones varían en determinados sectores, las cuales presentan elevaciones de entre 200 y 600m de altura. Se trata de una zona topográficamente diferenciada la cual la disimetría es su principal característica. Por lo general los suelos están constituidos en un noventa por ciento por rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias, poco consolidadas.

Relacionando los análisis obtenidos en la exploración del suelo, con su descripción geológica y comparando con los rangos de Tinsley se obtiene grados de licuefacción ver (tabla 1).

Resultados de los análisis obtenidos en la exploración del suelo y comparado con los Rangos de Tinsley et al		
Parámetros	Descripción de las características geológicas de la zona Tarqui	Rangos de licuefacción según Tinsley
Nivel freático	1.2 a 2.6 m	Muy Alto -Medio
Origen del suelo	Aluviales compuestos de arenas, limos, y arcillas de mediana a baja densidad	Medio - Bajo
Edad del depósito	Holoceno	Moderado - Bajo
Granulometría de los depósitos	Arenas limosas, arenas con gravas, limos arenosos, arena con finos	Alto
Aceleración	0,51g	Muy Alto - Medio

Tabla 1: Resumen de los resultados de exploración del suelo.

Fuente: Elaboración propia

Las características más significativas de la zona en estudio en cuanto a su geomorfología, lo conforman depresiones costeras entre zonas de cordones litorales y colinas bajas, esto caracteres provocan la acumulación de sedimentos con espesores variables alcanzando cotas de hasta -50 metros bajo el nivel del mar. La zona Tarqui presenta recepción de sedimentos provenientes de aportes continentales desde las colinas, y otros como los aportes deposicionales marinos. Las zonas con mayor elevación se encuentran al sur y suroeste donde alcanza cotas de entre 15 a 25 metros sobre el nivel del mar.

Tectonismo y sismología

La zona de subducción es una de las principales fuentes sísmicas del territorio ecuatoriano y específicamente para sus costas, presenta 576 kilómetros de longitud y se localiza a una distancia comprendida entre los 60 a 150 Km de la línea costanera del Ecuador continental.

La zona de estudio Tarqui denominada está localizada en la costa central del Ecuador, y se encuentra a unos 68 Km de distancia de la zona de subducción.

La magnitud (Mw.) del sismo está relacionado con la longitud de la falla, pero este depende de la geometría y cinemática de la misma. Por ejemplo una falla debe poseer entre 60 a 100 Km para generar un sismo de magnitud 7.5, esta es capaz de desplazar verticalmente la superficie del terreno entre los 1.2 a 1.6 metros. Para la zona Tarqui de la ciudad de Manta, la zona de subducción es la principal estructura sismogénica capaz de producir un evento sísmico de magnitud entre 8 a 8.1 grados, el segmento de esta falla presenta 281 km de longitud y se encuentra a 67 Km de distancia de la zona en estudio. Otra medición de los terremotos son las máximas aceleraciones en roca conocidos como PGA (Peak Ground Acceleration).

En la provincia de Manabí de acuerdo a los datos históricos, se han

registrado desde el año 1900, cinco terremotos con magnitudes mayores a los 7° en la escala de Richter. El evento sísmico más destacado ocurrió en 1906, un terremoto de magnitud 8.3, el cual se originó en una zona de interface de subducción. Posteriormente se dieron algunos eventos en los años 1942 (7.8 grados), 1958 (7.7 grados), 1979 (8.2 grados), 1998(7.1 grados) y por último en 2016 (7.8 grados); su epicentro se encuentra cercana a la zona de ruptura del evento suscitado en 1906.

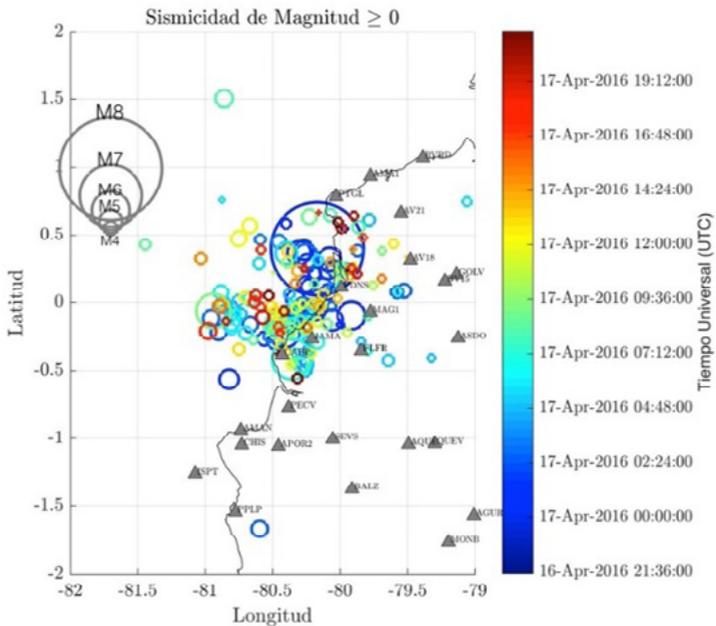


Figura 3: Registro de los sismo después del terremoto del 16 de Abril de 2016 (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional).

Para nuestra zona de estudio según los registros del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de dos estaciones sísmicas, en la provincia de Manabí, se muestra la aceleración máxima obtenida del terremoto del 16 de Abril de 2016 con epicentro en Pedernales (ver Figura 3 y 4).

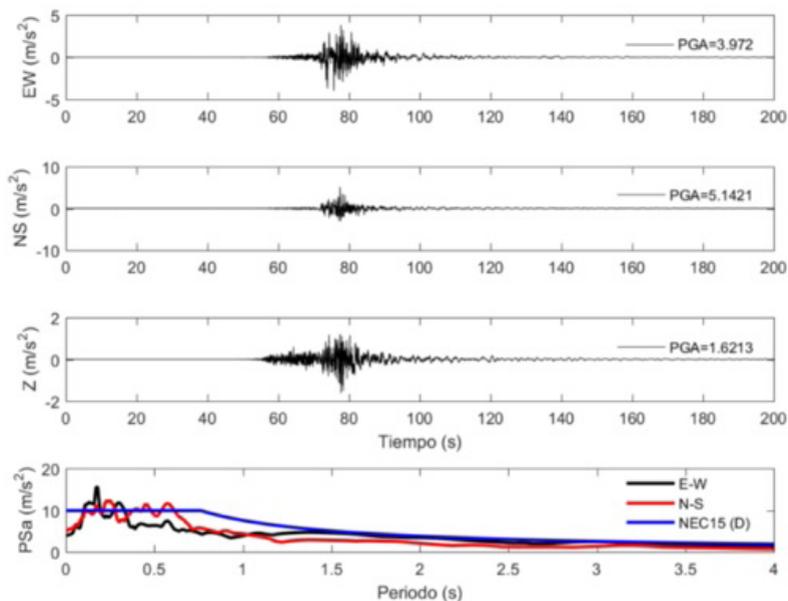


Figura 4: Señales de aceleración y espectros de respuesta para la estación Manta (Fuente el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional).

Fenómenos de licuefacción

La licuefacción se puede definir como la transformación de un material que se encuentra en estado sólido a un estado líquido, este fenómeno ocurre debido al incremento de la presión de poros de las partículas que conforman al material. La licuefacción de los suelos se produce cuando el material que se encuentra saturado es excitado por cargas cíclicas, lo que ocasiona la pérdida de esfuerzo debido a la acumulación de presiones de agua de poro (ver Figura 5). Por lo general la licuefacción es usual en los suelos arenosos saturados que son sometidos a cargas cíclicas.

Los suelos que presentan un nivel freático muy superficial tienen una probabilidad muy alta de licuarse. Aquellos suelos recientes y granulares conformados en el Holoceno y Pleistoceno y que presentan un nivel

freático alto, el nivel de saturación será mayor, por lo tanto, afecta los esfuerzos efectivos del suelo.

Las características más importantes en la respuesta del suelo son el material o materiales existentes en la zona, su contenido de finos y formas de las partículas que conforman su estructura y por último su gradación. Estas características se los denominan factores geológicos o geotécnicos, esenciales para el estudio de la licuefacción de los suelos.



Figura 5: Esquema del proceso de licuefacción. Tomada de (Jennifer Lindao B., Liliana Polonio B., 2014). Evaluación Del Potencial De Licuefacción De Suelos En La Zona De Chipipe Del Cantón Salinas.

Materiales y métodos

El método empleado en el presente estudio es del tipo cualitativo y cuantitativo; se desarrollarán trabajos de campo y ensayos de laboratorio respectivos, para elaborar una base de datos con todos los factores que intervienen en la presencia de la licuefacción de los suelos.

Una vez obtenido los resultados de los ensayos de laboratorio y de campo, se procederá al análisis por las metodologías propuestas por Seed e Idriss (1971) y Tokimatsu Yoshimi (1983), para la evaluación de la susceptibilidad de licuefacción y con esto dar los objetivos propuestos en la investigación, se desarrollaron las siguientes actividades:

Exploración del subsuelo

Se realizaron 12 perforaciones geotécnicas con sus respectivas pruebas de laboratorio del suelo. Las profundidades varían entre 7.0 y 8.0 m, debido a que a mayor profundidad el estrato de suelo presenta compacidad elevada y el suelo presenta menor potencial de licuefacción.



Figura 6: Ubicación de pozos

Estudio Geotécnico

Se realizaron sondeos para obtener los datos geomecánicos de los suelos de la zona en estudio. Los sitios para la realización de los sondeos para la obtención de las diferentes muestras alteradas se realizaron en sectores donde se presentaron problemas de asentamientos, grietas y colapso de estructuras. Se aplicó la prueba de penetración estándar, se realizó los respectivos análisis en el laboratorio de suelo para determinar el contenido de finos, el índice de plasticidad, entre otros parámetros los resultados por se detallan en la Tabla 2.

Cálculo de Licuefacción Metodología de Seed e Idriis

El cálculo del potencial de licuefacción de los suelos es determinado

por un factor de seguridad (FS). Para obtener el FS para evaluar la licuefacción de los suelos, se considera dos variables que son: la demanda sísmica del suelo, considerada como términos de la relación de esfuerzo de corte cíclico (CSR), y la capacidad del suelo para resistir la licuación, expresada en términos de la relación de resistencia cíclica (CRR).

El valor de la resistencia a la penetración estándar (N) incrementa conforme es mayor la densidad de las arenas, por ello es uno de los ensayos con mayor utilización con los cuales se tienen numerosos datos para evaluar la relación de la resistencia cíclica ante la licuefacción. Para definir el potencial de licuefacción de un suelo podemos concluir que si el CSR es menor que el CRR la licuefacción no se iniciará, pero si el CSR es mayor que el CRR, la licuefacción ocurrirá. El factor de seguridad FS a la licuefacción se puede calcular con la ecuación:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

En la tabla 2 se muestran los resultados de una perforación realizada en la zona Tarqui para el análisis geotécnico de licuefacción con su respectivo FS estimado y la condición que presenta y en la tabla 3 se encuentra la comparación de la licuefacción con los métodos por Seed e Idriss (1971) y Tokimatsu Yoshimi (1983).

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS DE TARQUI							
Lugar	Perforación			Resultados		Descripción	
	Nº	Prof.	N.F. S.U.C.S	N1 60CS	FS Observación		
Por Hotel Panamá Inn	p. 3	2,4 m	SM	19,53	0,482	Licuable	Arena limosa con presencia de grava, nula plasticidad, compacidad
			SM	5,57	0,328	Licuable	Arena limosa con presencia de grava, nula plasticidad, compacidad
			SM	17,91	0,757	Licuable	Arena limosa con presencia de grava, nula plasticidad, compacidad
			SP-SM	6,37	0,164	Licuable	Arena mal graduada con limo, nula plasticidad, compacidad fija a
			SP-SM	5,27	0,140	Licuable	Arena mal graduada con limo, nula plasticidad, compacidad fija a
			SM	64,11	-	No Licuable	Arena limosa, nula plasticidad, compacidad muy densa.
			SM	51,30	-	No Licuable	Arena limosa, nula plasticidad, compacidad muy densa.

Tabla 2: Resumen de los resultados de exploración del suelo. Fuente: Elaboración propia 2018.

COMPARACION DE LAS METODIOLÓGÍAS APLICADAS						
Lugar	Perforación			Seed & Idriss	Tokimatsu y Yoshimi (1983)	
	Nº	Prof.	N.F. S.U.C.S			
Por Hotel Panorama Inn	P-3	2,4 m	1	SM	Licuable	No Licuable
			2	SM	Licuable	Licuable
			3	SM	Licuable	Licuable
			4	SP-SM	Licuable	Licuable
			5	SP-SM	Licuable	Licuable
			6	SM	No Licuable	Licuable
			7	SM	No Licuable	Licuable

Tabla 3: Comparación de la perforación P-3. SPT del potencial de licuefacción de la zona Tarqui con los métodos Seed e Idriss (1971) y Tokimatsu Yoshimi (1983)
Fuente: Elaboración propia 2018.

Resultados y discusión

La información de campo y laboratorio obtenida para desarrollar esta investigación, se determinó que la zona de Tarqui (denominada zona cero) presenta un potencial de licuefacción muy elevado, de acuerdo a las metodologías utilizadas, se encontraron estratos licuables en las doce perforaciones realizadas en distintas partes de la zona de estudio, siendo la zona con mayor influencia las que presentaban estratos de suelo con un nivel freático entre 1m y 1,5 m sobre el nivel del mar.

La metodología de Seed e Idriss presenta un rango de aceptación muy alto ya que considera un factor muy importante como es el porcentaje de finos y presenta mayor efectividad que la de otros autores como Tokimatsu y Yoshimi presentó suelos licuables con valores SPT superiores a 30, razón por la cual este autor considera que la metodología Seed e Idriss presenta mayor efectividad.

A través de las metodologías utilizadas en esta investigación nos permitió evaluar las zonas que están propensas a ocurrir la licuefacción. La comparación de las dos metodologías y considerando la magnitud

del sismo del 16 de Abril de 2016 de 7.8, determinó una similitud en algunas perforaciones mediante la obtención del factor de seguridad y el número de golpes SPT.

Conclusiones

1. Los ensayos de laboratorio demostraron la presencia de suelos conformados en gran porcentaje por arenas limosas, las cuales presentan compacidad y capacidad portante muy baja, este tipos de suelo permite que la presión de poros aumente con el paso de ondas sísmicas, provocando que los suelos se licuen con facilidad.

2. Los datos de granulometría obtenidos de las muestras recolectadas, y que clasifican a los suelos como arenas limosas presentaron un factor de seguridad menor a 0, lo cual indican que los suelos presentaron licuefacción durante el terremoto del 16 de Abril de 2016.

3. Los factores geotécnicos que se definieron en esta investigación permitieron relacionar a la licuefacción con el origen de muchos asentamientos diferenciales que se presentaron en la zona de estudio durante el terremoto de Mw 7.8° con epicentro en Manabí.

4. La conformación de estratos de arenas provenientes de la sedimentación y que tienen origen en los depósitos coluviales, están presente en las zonas bajas cercanas al río Manta y Burro, estos estratos presentaron número de golpes SPT muy bajos entre 2 y 8, por lo tanto, la capacidad portante se encuentra por debajo de los 3 Kg/cm².

Bibliografía

- Lindao, J. ed al. (2014). *Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la zona de Chipipe del cantón Salinas*. La Libertad, Ecuador.
- Seed e Idriss. (1971). Procedimiento simplificado para la evaluación del potencial de licuefacción de suelos.
- Geoestudios. (2016). "Estudio Geotécnico y de Riesgo Sísmico de La Zona Tarqui de la Ciudad de Manta de acuerdo a La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015".
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (s.f.). Recuperado de <http://www.igepn.edu.ec/nosotros>
- Quevedo, J. (18 de Septiembre de 2001). "Análisis de Morfoestructuras en imagenes radar, fotos aéreas, red de drenaje y modelos numéricos para la observación de deformaciones de una margen activa, ejemplo de Manta".

CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

INTRODUCCIÓN

La erradicación de la pobreza es una responsabilidad compartida que requiere de la acción mancomunada del gobierno central, de los gobiernos autónomos descentralizados así como de la sociedad en su conjunto.

Poder disponer de los servicios de agua potable y saneamiento contribuye notablemente a la disminución de la pobreza desde la dimensión de satisfacer las necesidades básicas de población, incrementar los niveles de salud a partir de reducir el riesgo de las enfermedades parasitarias y gastrointestinales, disminuir la desnutrición infantil así como fortalecer la productividad territorial con un mayor impacto en los servicios y el turismo.

El INEC (2014) reportó que el componente de agua y alcantarillado representa el 38% de la pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y el 64,1% de la extrema pobreza por NBI. Por tal motivo, a partir de estos resultados se declara que la ampliación de estos servicios es una estrategia efectiva para reducir la pobreza.

En el año 2015 se elabora y pone en vigor la Estrategia Nacional de Agua y Saneamiento del Ecuador (ENAS). En esta estrategia la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) se propuso el objetivo de definir las pautas de manera oficial para el sector en su intención de lograr una cobertura total de los servicios de agua potable y saneamiento en todo el territorio nacional en los próximos años y dar así cumplimiento, tanto a las metas del Plan del Buen Vivir como de la Estrategia de Erradicación de la Pobreza. En tal sentido, y con el apoyo del Banco Iberoamericano de Desarrollo, del Banco Mundial y del Fondo Español de Cooperación

para Agua y Saneamiento en América Latina y el Caribe, se contrató un equipo consultor que trabajando en estrecha colaboración con la Subsecretaría de Agua y Saneamiento de la SENAGUA y en un trabajo participativo y mancomunado con los principales actores sectoriales (a nivel nacional y municipal) tuvo como misión desarrollar este importante instrumento de planificación y política sectorial nacional (Fernández y cols. 2015).

Se establecen a partir de ese momento un conjunto de normativas y procedimientos que se articulan en un marco legal derivado de la Constitución de la República, del Decreto de la creación del SENAGUA y de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos (LORH) entre otros (Figura 1).



Figura 1. Marco Constitucional de la Gestión del Agua en Ecuador (SENAGUA, 2014).

En este proceso se definen los actores y sus roles correspondientes para la Gestión del Recurso Hídrico y se conforma una Estructura Nacional para llevar a cabo todas las metas propuestas bajo la dirección suprema de la Autoridad Única del Agua (AUA) según se detalla en la figura 2.

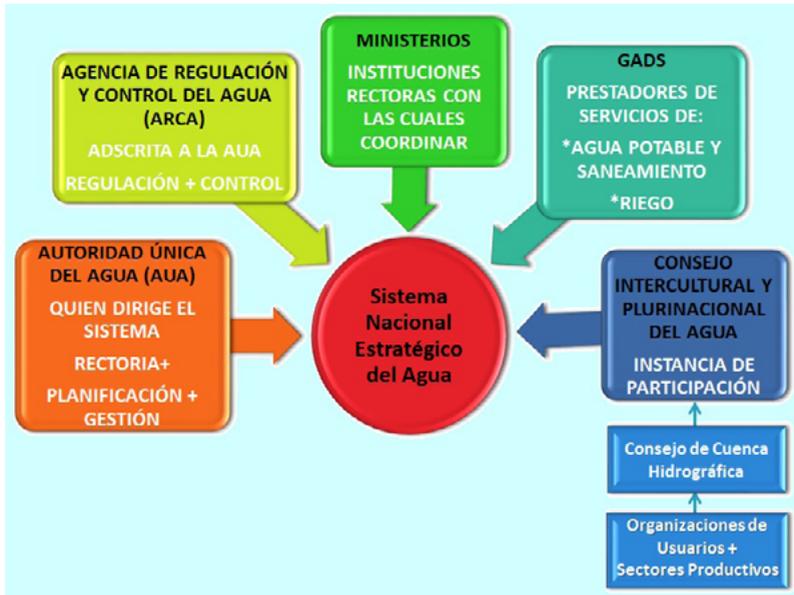


Figura 2. Estructura para la Gestión del Agua en Ecuador (SENAGUA, 2014).

La cuantificación espacial y temporal de los recursos hídricos disponibles de una región agrícola es la base para una planificación sustentable. La necesidad de estudiar la variabilidad climática, en particular de la lluvia, es crucial en las ciencias agrícolas, como lo enuncia Garduño (citado por Mercado et al., 2014).

A pesar de que Rivadeneira y Zambrano (citados por Pérez y cols. 2018) realizaron estudios importantes en Manabí enfocados a la Evaluación del Efecto del Cambio Climático y la Implementación de un sistema de Indicadores para la Gestión de las Sequías en la Provincia, no se han encontrado evidencias de trabajos que estudien el fenómeno de ocurrencia de la lluvia orientado a las planificaciones del Régimen de Riego de los Cultivos ni como sustento al Diseño Hidráulico de Obras de Captación para riego en pequeña escala.

Generar nuevas propuestas para la Gestión de los Recursos Hídricos

en la Provincia Manabí para asegurar la lucha contra la desertificación, la degradación del medio ambiente, la sequía, la adaptación al cambio climático y al fortalecimiento de la Matriz Productiva, ha sido el objetivo general del Programa de Gestión de Recursos Hídricos para el cual trabajan profesores y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil en la ULEAM. En este Programa se identifican dos Proyectos de Investigación:

- Estudio Edafoclimático para el diseño y operación de los Sistemas de Riego en Manabí.
- Caracterización de las Aguas Residuales en la ciudad de Manta.

Los resultados presentados en este Capítulo se derivan del desarrollo de las actividades desarrolladas por docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil en el primer año de investigaciones de ambos Proyectos.

En los primeros cinco trabajos se aborda el tema del régimen de riego de los cultivos a partir de estudios desarrollados en la provincia sobre el comportamiento de las variables climáticas y de las propiedades hidrofísicas de los suelos. Los tres trabajos restantes se enfocan en la problemática del tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de Manta para su posible tratamiento y reutilización.

Bibliografía

- Fernández, D.; Solis, H.; Caicedo, L.F. y Acosta, M. (2015). *Estrategia nacional de Agua y Saneamiento del Ecuador*. Documento consolidado. Recuperado de <http://instrumentosplanificacion.senplades.gob.ec/documents/20182/22941/EstrategiaNacionaldeAguaPotableySaneamiento2016.pdf/8f07044d-fb5d-4cc6-abf7-e39ab36759b2>
- INEC. (2014). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Recuperado de <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadsticas-economicas>
- Mercado, M.G.1.; Ramírez, R. M.; Vizcarra H.I.F.; López, A., H.; López,

V.D.M.; Granados, M.A.K.; Reyes, L.D.2 y Chaires, M. B.E.2 (2014). *Distribución y Probabilidad de la lluvia en Cuautitlán Izcalli, Estado de México*. Recuperado de <http://www.ommac.org/memoria2014/extensos/E2014092601.pdf>

Pérez, L.R.; Cabrera, E. E.; Hinostroza, G.M.I. y Manzaba, C.J.R. (2018). The irrigation regime for Crops in Manabí, Ecuador: climatological study. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 27, 1. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v27n1/rcta01118.pdf>

ESTUDIO DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES PARA PROYECTOS DE RIEGO EN MANABÍ-ECUADOR

Ramón Pérez Leira

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Riego y Drenaje y Doctor en Ciencias Técnicas.

Correo: rperezleira@gmail.com

Marcos Israel Hinostroza García

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: marcus_mihg@hotmail.com

Jordan René Manzaba Carvajal

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: jordan.manzaba@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo se realizó dentro del Proyecto de Investigación “Estudio Edafoclimático para el diseño y operación de los Sistemas de Riego en Manabí”, desarrollado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. El objetivo de este estudio fue definir el comportamiento de las precipitaciones para el 75% de probabilidad de sobrepaso en la Provincia Manabí. El estudio estuvo basado en los registros de evaporación mensual obtenidos durante 23 años en las 49 estaciones meteorológicas de la provincia Manabí. De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, se determinó que sólo 20 cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles. Para la determinación del año del 75% de probabilidad de

sobrepaso se aplicaron 10 métodos empíricos propuestos por diferentes autores. Para validar las series fueron empleadas también la función de la Distribución Normal y el Método de Frecuencia Acumulada. El análisis de los datos mediante los métodos empíricos evidencia que el método de Weibull tiene un mejor sustento estadístico para determinar los años con el 75% de probabilidad de sobrepaso, lo cual coincide en gran medida con los resultados ofrecidos por la mayoría de los métodos. El comportamiento histórico del promedio de las precipitaciones del 75% de probabilidad de sobrepaso en Manabí muestra la existencia de una estación lluviosa (enero a abril) donde se concentra el 83% de la precipitación anual y una seca (mayo a diciembre) con el 17% restante.

Palabras clave: precipitación, meteorológica, estadístico, probabilidad de sobrepaso, climatológico.

STUDY OF THE REGIME OF PRECIPITATIONS FOR IRRIGATION PROJECTS IN MANABÍ-ECUADOR.

Abstract

The present work was carried out within the Research Project “Edaphoclimatic Study for the design and operation of the Irrigation Systems in Manabí”, developed by the Faculty of Engineering of the “Univeridad Laica Eloy Alfaro de Manabí”. The objective of this study was to define the behavior of rainfall for the 75% probability of exceedance in the Manabi Province. The study was based on the monthly evaporation records obtained during 23 years in the 49 meteorological stations of the Manabi province. Of the 49 meteorological stations analyzed, it was determined that only 20 complied with the condition of registering at least 70% of the possible data. For the determination of the year with a 75% probability of exceedance, 10 empirical methods proposed by different authors were applied. To validate the series, the function of

the Normal Distribution and the Accumulated Frequency Method were also used. The analysis of the data by empirical methods shows that the Weibull method has a better statistical support to determine the years with 75% probability of exceedance, which coincides to a large extent with the results offered by most of the methods. The historical behavior of the average rainfall of 75% probability of exceedance in Manabí shows the existence of a rainy season (January to April) where 83 % of the annual rainfall is concentrated and a dry one (May to December) with the 17% remaining.

Keywords: precipitation, meteorological, statistical, probability of exceedance, climatological

Introducción

En América Latina se evidencia que la población está expuesta a los desastres que provocan el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). “Con respecto al total de desastres climáticos, los originados por el ciclo de oscilaciones ENOS ocasionaron 4,1% de las muertes, 48,8% de la población afectada, 47,8% de los daños y 52,0% de las pérdidas” (CEPAL, 2014). Según reportes del INEC (2017) el 66% de la superficie regada es beneficiada por bombeo, seguido de un 21.75% de riego por gravedad y un 8.38% de una superficie regada por aspersión.

A pesar de que Rivadeneira (2014) y Zambrano (2014) realizaron estudios importantes en Manabí enfocados a la Evaluación del Efecto del Cambio Climático y la Implementación de un sistema de Indicadores para la Gestión de las Sequías en la Provincia, no se han encontrado evidencias de trabajos que estudien el fenómeno de ocurrencia de la lluvia orientado a las planificaciones del Régimen de Riego de los Cultivos ni a los proyectos constructivos de estos sistemas.

La agricultura en Manabí es uno de los principales renglones económicos. Este renglón es uno de los más diversos del Ecuador, debido al tamaño

de la provincia, la estabilidad climática y la topografía de sus suelos aptos para cultivos (Zambrano, 2013). En la actualidad los proyectos y programaciones de riego que se realizan en la Provincia se basan en valores de Evapotranspiración de los cultivos en zonas o proyectos análogos y no provienen de estudios desarrollados en la Provincia sobre bases científicas, lo cual limita el uso eficiente del agua empleada para el riego. A partir de este problema se desarrolla el presente trabajo con el objetivo de definir el comportamiento de las precipitaciones del 75% de Probabilidad de sobrepaso para la Provincia Manabí.

El presente trabajo se sustenta en la articulación de los objetivos propuestos en el Proyecto K005 MAE- Gestión Integrada para la Lucha contra la Desertificación, Degradación de la Tierra y Adaptación al Cambio Climático (GIDDACC), liderado por la Subsecretaría de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y que tiene su ejecución aprobada durante los años 2014 a 2018. Dentro de Ecuador, esta investigación está en plena correspondencia con el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 y tributa directamente al objetivo 10.4 dentro de la Matriz de políticas y lineamientos estratégicos donde se expresa textualmente: “Impulsar la producción y la productividad de forma sostenible y sustentable, fomentar la inclusión y redistribuir los factores y recursos de la producción en el sector agropecuario, acuícola y pesquero.” Dentro del mencionado objetivo se enfatiza en el inciso i: “Incrementar la cobertura y el acceso equitativo al riego e impulsar la cogestión de los sistemas de irrigación, aprovechando las formas organizativas y saberes locales, para garantizar la soberanía alimentaria.” También se apoya en el objetivo 10.9 a donde se plantea: “Ampliar y mejorar la provisión, acceso, calidad y eficiencia de los servicios públicos de agua potable, riego y drenaje, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, gas natural y el servicio postal”. (SENPLADES, 2013)

La justificación de este trabajo se basa en la falta de información

existente sobre las variables climatológicas, de suelos y cultivos que permitan organizar el riego sobre criterios técnicos y económicos. Se inserta en un escenario muy favorable que impulsa el país, dentro del fortalecimiento de la Matriz Productiva, materializado a través del Proyecto Multipropósito Chone en la zona norte de Manabí y en las proyecciones de construcción de nuevos sistemas de riego dentro de la Provincia.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se compilaron y analizaron los datos climatológicos de las 49 estaciones meteorológicas existentes en la Provincia (figura 1). Se compilaron los datos publicados por el INAMHI desde el año 1990 hasta el 2012, con lo cual se confeccionaron series de 23 años de observación. Para el completamiento de datos faltantes se utilizaron dos métodos propuestos por Campos (1998): el método del U.S. National Weather Service y el método Racional Deductivo.

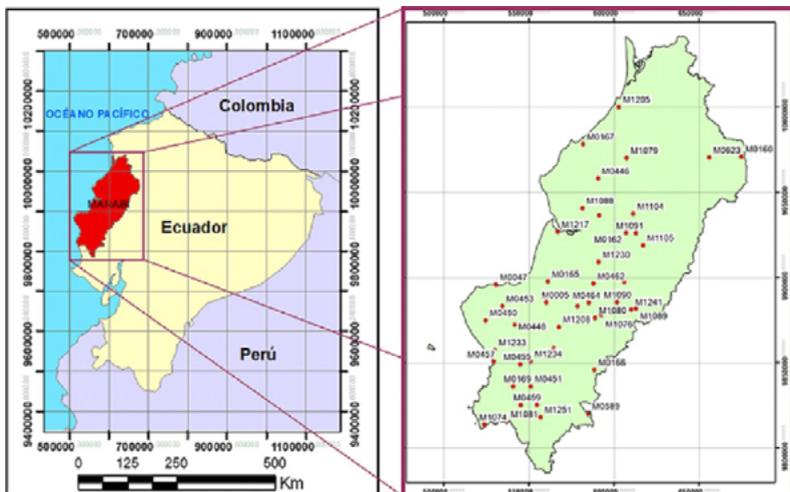


Figura 1- Ubicación de las estaciones meteorológicas en la provincia de Manabí.

La determinación del año con la probabilidad de sobrepaso de la

Precipitación del 75% se realizó mediante la aplicación de 10 métodos empíricos propuestos por González et al. (2003) y Raes y Leuven (2013) según se muestra en la tabla 1. En esas expresiones **m** es el valor de la posición del elemento en la serie de datos y **n** es el número total de datos de la serie o tamaño de la serie.

Tabla 1- Expresiones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%) (Raes, 2013).

Método	Ecuaciones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%)
California 1923	m / N
Hazen 1930	$(m - 0,5) / N$
Weibull 1939	$m / (N + 1)$
Chegodaeff 1955	$(m - 0,3) / (N + 0,4)$
Bloom 1958	$(m - 0,38) / (N + 0,25)$
Alexeeff 1960	$(m - 0,25) / (N + 0,25)$
Turquey 1962	$(3m - 1) / (3N + 1)$
Blojinoff 1976	$(m - 0,4) / (N + 0,2)$
Sevruck & Geiger 1981	$(m - 3 / 8) / (N + 1 / 4)$
Gringorten 1983	$(m - 0,44) / (N + 0,12)$

El análisis de la homogeneidad de las series de datos se realizó según la propuesta de González et al. (2003) en el cual se desarrollan dos fases: una exploratoria y una confirmatoria. Para verificar la adaptación de las probabilidades empíricas a la distribución normal, se deben realizar

pruebas que permitan corroborar la bondad de los ajustes teóricos. Este proceso se realiza a partir de una comparación de los valores obtenidos de los métodos de frecuencia acumulada con los de la distribución normal, para ello se calcula la variable normal estándar z , cuya fórmula se presenta en Chow et al. (1994).

Para el cálculo de la precipitación promedio en el área se utilizaron los métodos del Promedio Aritmético y de los Polígonos de Thiessen.

Resultados

De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, se determinó que sólo 20 cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles. Una relación detallada de estas estaciones se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2- Datos de las estaciones meteorológicas de INAMHI que cumplieron con la condición de registrar al menos el 70 % de la información en el período analizado.

DATOS DISPONIBLES DE ALTURA DE PRECIPITACIÓN EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS MANABÍ				
Código Anterior	Código Nuevo	DESCRIPCIÓN	Datos disponibles	% Datos Disponibles
M447	M0447	24 DE MAYO (JABONCILLO)	261	94,57%
M450	M0450	CAMARONES-MANABÍ	243	88,04%
M171	M0171	CAMPOSANO #2	274	99,28%
M162	M0162	CHONE-U. CATÓLICA	260	94,20%
M453	M0453	CHORRILLOS	257	93,12%
M458	M0458	COLIMES DE PAJÁN	258	93,48%

DATOS DISPONIBLES DE ALTURA DE PRECIPITACIÓN EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS MANABÍ				
M451	M0451	EL ANEGADO	250	90,58%
M167	M0167	JAMA	217	78,62%
M455	M0455	JOA-JIPIJAPA	243	88,04%
M169	M0169	JULCUY	268	97,10%
M462	M0462	JUNÍN	237	85,87%
M448	M0448	LA LAGUNA	248	89,86%
M166	M0166	OLMEDO-MANABÍ	274	99,28%
M005	M0005	PORTOVIEJO-UTM	275	99,64%
M457	M0457	PUERTO CAYO	259	93,84%
M464	M0464	RÍO CHAMOTETE-JE-SÚS MARIA	238	86,23%
M454	M0454	RÍO CHICO EN ALAJUE-LA	240	86,96%
M165	M0165	ROCAFUERTE	269	97,46%
M459	M0459	SAN PABLO-MANABÍ	255	92,39%
M449	M0449	SANCÁN-INAMHI	250	90,58%

En la figura 2 se presenta la aplicación del Método de los Polígonos de Thiessen a las 20 estaciones meteorológicas analizadas.

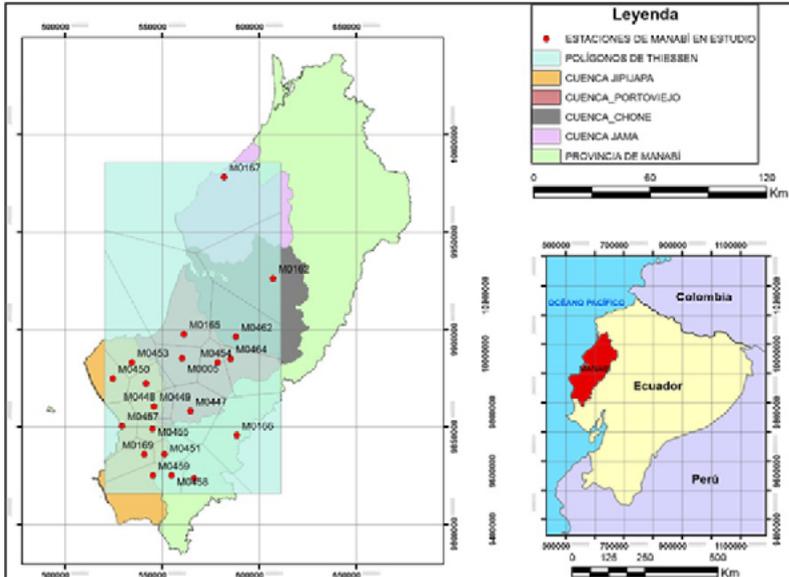


Figura 2– Representación espacial de los Polígonos de Thiessen en base a las estaciones meteorológicas de la provincia de Manabí, para las cuencas en estudio.

En la figura anterior se evidencia que los polígonos de Thiessen en las cuencas no abarcan toda el área de las mismas, esto porque la red de estaciones no tiene una distribución adecuada, sin embargo se logra tener un resultado aceptable porque se abarca la mayor parte de las cuencas.

Del análisis de esta figura se obtuvo la relación de las estaciones con las que se cuenta por cuenca. De acuerdo a la representación espacial de los polígonos de Thiessen, las mismas son:

- Cuenca de Jama: M0162, M0167.
- Cuenca de Chone: M0162, M0165, M0167, M0462, M0464.
- Cuenca de Portoviejo: M0005, M0165, M0166, M0447, M0448, M0449, M0453, M0454, M0455, M0462, M0464.
- Cuenca de Jipijapa: M0005, M0169, M0448, M0449, M0450, M0451, M0453, M0455, M0457, M0458, M0459.

En la figura 3 se aprecia el comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas.

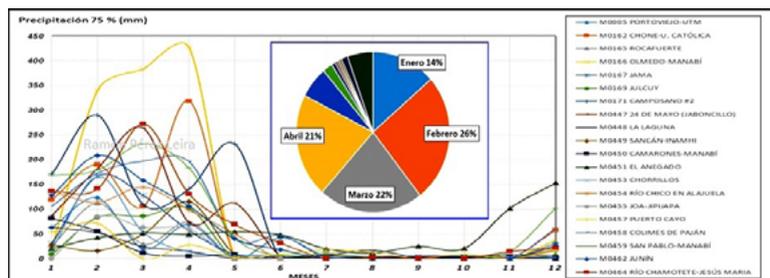


Figura 3- Comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas.

Como se puede observar, en la mayoría de las estaciones las precipitaciones se concentran durante los meses de enero a abril. La suma del porcentaje que representa la lluvia que cae durante estos cuatro meses abarca el 83% del total de la lluvia caída en el año. Con esta distribución queda un 17% de las precipitaciones anuales para distribuirse durante los 8 meses restantes (mayo a diciembre).

Conclusiones

1. A nivel internacional la experiencia en el procesamiento de datos de precipitación media mensual con fines de riego es amplia, puesto que se disponen de trabajos semejantes que obtuvieron resultados acordes con la variabilidad climática de la zona en estudio. En Ecuador se han realizado trabajos de caracterización climática de diversas zonas, pero no se han encontrado evidencias de estudios que aborden la probabilidad de ocurrencia de la lluvia con fines de riego a escala de provincia.

2. Los valores mensuales de precipitaciones calculados para la Provincia de Manabí denotan el comportamiento del 75% de probabilidad

de sobrepaso en base al registro de precipitación mensual en las estaciones meteorológicas que se abordan en la presente investigación.

3. Los años que cumplen con el 75% de probabilidad de sobrepaso en las estaciones meteorológicas no presentan tendencia de repetirse en otras estaciones cercanas.

4. El procesamiento de datos de precipitación con fines de riego a nivel provincial mostró que de las 49 estaciones que se consideraron al inicio, en 20 de ellas se cumple con un mínimo del 70% de datos necesarios para el estudio. En 19 de estas estaciones las series resultaron ser homogéneas y se ajustaron al modelo de distribución normal.

5. El comportamiento histórico del promedio de las precipitaciones del 75% de probabilidad de sobrepaso en Manabí muestra la existencia de una estación lluviosa (enero a abril) donde se concentra el 83% de la precipitación anual y una seca (mayo a diciembre) con el 17% restante.

Bibliografía

- Campos D.F., A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- CEPAL. (2014). *La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1972-2010*. Santiago de Chile. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37104/S2014127_s.pdf;jsessionid=FA61605ECFF3FE52BFF9FF4D703BAC12?sequence=1
- Chow et al. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: Editorial McGRAW-HILL.
- González, S. L.; Jorge, P. M.; Martínez, R. J. y Marrero, N. (2003). *Hidrología Superficial para ingenieros CUJAE*. La Habana, Cuba.
- INEC. (2017). Clasificador Geográfico Estadístico. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/clasificador-geografico-estadistico-dpa/>

- RAES, D. (2013). "Frequency Analysis of rainfall data". Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. Recuperado de <http://indico.ictp.it/event/a12165/session/21/contribution/16/material/0/0.pdf>
- Rivadeneira V., J.F. (2014). *Evaluación del Efecto del Cambio Climático bajo Escenarios de Emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador*. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/58552>
- SENPLADES. (2013). Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Recuperado de www.buenvivir.gob.ec/documents/10157/26effa35-aaa8-4aec-a11c-be69abd6e40a
- Zambrano, M. (2013). Tierra Bella Manabí. Recuperado de <http://tierrabellamanabi.blogspot.com/2013/06/produccion.html>
- Zambrano M., Y. E. (2014). *Posibilidades de Implementación de un Sistema de Indicadores para la Gestión de Sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador*. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/59791>

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO REFERENCIA PARA PROYECTOS DE RIEGO EN MANABÍ-ECUADOR

Ramón Pérez Leira

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Riego y Drenaje y Doctor en Ciencias Técnicas.

Correo: rperezleira@gmail.com

Jordan René Manzaba Carvajal

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: jordan.manzaba@hotmail.com

Marcos Israel Hinostroza García

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: marcus_mihg@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo se realizó dentro del Proyecto de Investigación “Estudio Edafoclimático para el diseño y operación de los Sistemas de Riego en Manabí”, desarrollado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. El objetivo de este estudio fue definir el comportamiento de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia para la provincia de Manabí. A partir de los registros de evaporación mensual obtenidos durante 23 años en dos estaciones meteorológicas de Manabí (Portoviejo y Chone), se procedió a determinar el año del 25% de probabilidad de sobrepaso. Para ello se aplicaron 10 métodos empíricos y la función de la Distribución Normal. La determinación de la

Evapotranspiración del Cultivo de Referencia se realizó mediante la aplicación de nueve métodos reconocidos por la FAO y desarrollados por diferentes autores. Los resultados evidencian que el método más apropiado para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia es el propuesto por Blaney-Criddle, debido a su bajo porcentaje de error. A pesar de su precisión, los métodos Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani requieren de una gran cantidad de datos climatológicos (temperatura, radiación solar, radiación global, humedad relativa, velocidad de viento y horas de sol) por lo que su aplicación se puede ver limitada en zonas con poca disponibilidad de estos datos. El comportamiento de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia para la provincia de Manabí refleja que los meses con mayores valores son marzo y abril, mientras que febrero y junio son los meses con menores valores.

Palabras clave: evapotranspiración del cultivo de referencia, meteorológica, probabilidad.

STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE REFERENCE crop evapotranspiration FOR IRRIGATION PROJECTS IN MANABÍ-ECUADOR.

Abstract

The present work was carried out within the Research Project "Edaphoclimatic Study for the design and operation of the Irrigation Systems in Manabí", developed by the Faculty of Engineering of the "Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí". The objective of this study was to define the behavior of the Reference Crop Evapotranspiration for the province of Manabí. From the monthly evaporation records obtained during 23 years in two meteorological stations of Manabí (Portoviejo and Chone), the 25% probability of exceedance was determined. To do this, 10 empirical methods and the function of the Normal Distribution were applied. The determination of the Reference Crop Evapotranspiration was

carried out through the application of nine methods recognized by the FAO and developed by different authors. The results show that the most appropriate method to determine the Reference Crop Evapotranspiration is the one proposed by Blaney-Criddle, due to its low percentage of error. Despite its accuracy, the Blaney-Criddle and Hargreaves-Samani methods require a large amount of climatological data (temperature, solar radiation, global radiation, relative humidity, wind speed and hours of sunlight) so that their application can be seen limited in areas with little availability of this data. The behavior of the Reference Crop Evapotranspiration for the province of Manabí reflects that the months with the highest values are March and April, while February and June are the months with the lowest values.

Keywords: reference crop evapotranspiration, meteorological, probability,

Introducción

La evapotranspiración (ET) es la pérdida de agua que ocurre en una superficie como consecuencia de la combinación de los procesos de evaporación de una superficie evaporante (lagos, ríos, mares, suelo y vegetación mojada) y la transpiración de la planta (Vargas, 2011). Allen y cols. (Citado por Sousa y cols. 2017) plantean que la mayoría de las ecuaciones empleadas en la estimación de la evapotranspiración son empíricas y limitadas a los lugares y climas similares a aquellos en los que se determinaron las mismas. Por tal motivo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propone utilizar la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o) para comparar el comportamiento de la Evapotranspiración en diferentes regiones.

La FAO (2006) define la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o) como "la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia,

que ocurre sin restricciones de agua"... "La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición...Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ETo en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia. Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos".

Manabí es una provincia especializada en agricultura, en relación con el resto del país. El gran tamaño del sector agrícola es un tema clave para el desarrollo de la economía manabita. Además, este sector agrícola es uno de los más diversos del Ecuador, debido al tamaño de la provincia, la estabilidad climática y la topografía de sus suelos aptos para cultivos (Zambrano, 2013). A pesar de que Rivadeneira (2014) realizó estudios importantes en Manabí enfocados a la Evaluación del Efecto del Cambio Climático, no se han encontrado evidencias de trabajos que estudien el comportamiento de la Evaporación orientado a los Proyectos y el Régimen de Riego de los Cultivos. Por tal motivo los proyectos y programaciones de riego que se realizan en la Provincia se basan en valores de Evapotranspiración de los cultivos en zonas o proyectos análogos y no provienen de estudios desarrollados en la Provincia sobre bases científicas, lo cual limita el uso eficiente del agua empleada para el riego. El presente trabajo está en plena correspondencia con el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 tributa directamente al objetivo 10.4 dentro de la Matriz de políticas y lineamientos estratégicos donde se expresa textualmente: "Impulsar la producción y la productividad de forma sostenible y sustentable, fomentar la inclusión y redistribuir los factores y recursos de la producción en el sector agropecuario,

acuícola y pesquero”. Dentro del mencionado objetivo se enfatiza en el inciso i: “Incrementar la cobertura y el acceso equitativo al riego e impulsar la cogestión de los sistemas de irrigación, aprovechando las formas organizativas y saberes locales, para garantizar la soberanía alimentaria”. También se apoya en el objetivo 10.9 a donde se plantea: “Ampliar y mejorar la provisión, acceso, calidad y eficiencia de los servicios públicos de agua potable, riego y drenaje, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, gas natural y el servicio postal” (SENPLADES, 2013). A partir de este escenario, se desarrolla el presente trabajo con el objetivo de definir el comportamiento de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia para la provincia de Manabí.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se compilaron y analizaron los datos climatológicos de las 49 estaciones meteorológicas existentes en la Provincia (figura 1). Se compilaron los datos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de Ecuador desde el año 1990 hasta el 2012, con lo cual se confeccionaron series de 23 años de observación. Para el completamiento de datos faltantes se utilizó el método Racional Deductivo. (Campos, 1998)

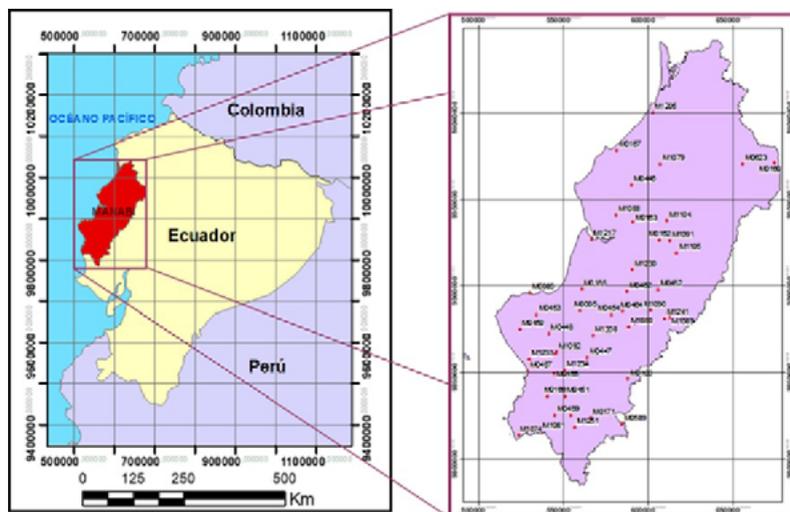


Figura 1- Ubicación de las estaciones meteorológicas en la provincia de Manabí.

La determinación del año con la probabilidad de sobrepaso de la Evaporación del 25% se realizó mediante la aplicación de 10 métodos empíricos y la función de la Distribución Normal (tabla 1).

Tabla 1- Expresiones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%) (Raes, 2013).

Método	Ecuaciones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%)
California 1923	m/N
Hazen 1930	$(m - 0,5)/N$
Weibull 1939	$m/(N + 1)$
Chegodaeff 1955	$(m - 0,3)/(N + 0,4)$
Bloom 1958	$(m - 0,38)/(N + 0,25)$
Alexeeff 1960	$(m - 0,25)/(N + 0,25)$

Turquey 1962	$(3m - 1)/(3N + 1)$
Blojinoff 1976	$(m - 0,4)/(N + 0,2)$
Sevruk & Geiger 1981	$(m - 3 / 8)/(N + 1 / 4)$
Gringorten 1983	$(m - 0,44)/(N + 0,12)$

La determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia se realizó mediante la aplicación de los nueve métodos que se relacionan a continuación:

1. Método de Blaney-Criddle (Doorenbos y Pruitt, 1977)
2. Método de Papadakis (Colunge y Legarda, 1986)
3. Método de Blaney-Morin (Colunge y Legarda, 1986)
4. Método de Jensen-Haise (Pacheco et al, 1995)
5. Método del tanque evaporímetro (FAO, 2006)
6. Método de Hargreaves-Samani (Vega y Jara, 2009)
7. Método de García y López (Valencia, 2010)
8. Método de Thornthwaite y Wilm (Valencia, 2010)
9. Método de Turc (Valencia, 2010)

Resultados

De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, solo dos cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles:

- Portoviejo (M-005)
- Chone (M-162)

Luego del completamiento de los datos Faltantes se determinó que para la estación de Portoviejo, el año que cumple con la condición del 25% de probabilidad de sobrepaso de evaporación es el año 1993. Para la Estación de Chone, esta condición se cumplió para el año 1991, excepto

los resultados generados por dos métodos (California y Weibull) que indican el año 1995.

En la figura 2 se observa el comportamiento de la probabilidad de ocurrencia de la Evaporación obtenida por el método de la distribución normal, por el método de la frecuencia acumulada y por las 10 expresiones empíricas para las estaciones de Portoviejo y Chone.

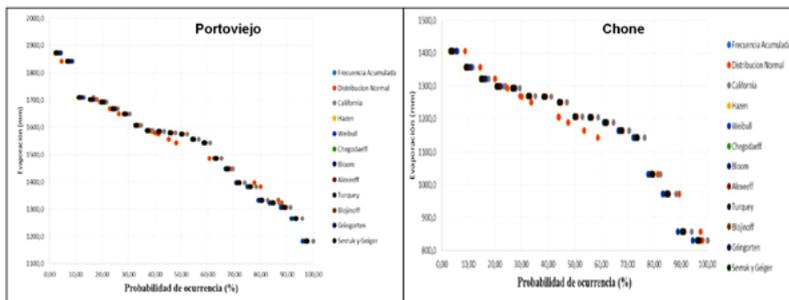


Figura 2- Comportamiento de la probabilidad de ocurrencia de la Evaporación obtenida por 12 criterios para las estaciones de Portoviejo y Chone.

En la figura 3 se presenta el comportamiento mensual de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (para Portoviejo en 1993 y Chone en 1991) obtenida por los nueve métodos aplicados.

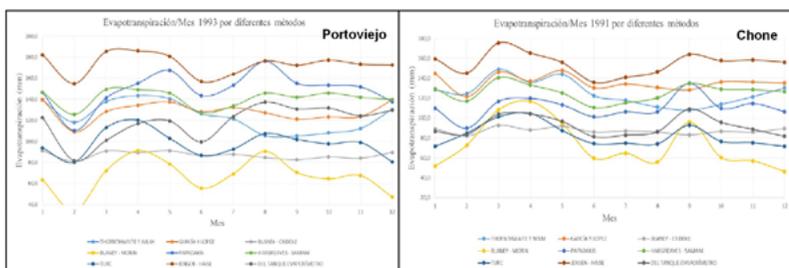


Figura 3- Comportamiento mensual de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia obtenida por nueve métodos de cálculo para las estaciones de Portoviejo y Chone.

En la tabla 2 se puede apreciar la cantidad de datos requeridos por cada uno de los Métodos de Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia y el porcentaje de variación de dicho parámetro para las estaciones de Portoviejo y Chone.

Tabla 2– Cantidad de datos requeridos por cada uno de los Métodos de Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia y su porcentaje de variación para las estaciones de Portoviejo y Chone.

Estaciones Meteorológicas		M005- Portoviejo	M162-Chone
<i>Método de cálculo de la Evapotranspiración</i>	<i>Cantidad de Datos Requeridos</i>	<i>% de Variación</i>	<i>% de Variación</i>
<i>Blaney-Criddle</i>	9	4.0	3.6
<i>Turc</i>	7	12.5	14.2
<i>Hargreaves-Samani</i>	6	5.8	6.9
<i>Blaney-Morin</i>	5	24.4	32.5
<i>Jensen-Haise</i>	5	5.9	7.2
<i>Thornthwaite y Wilm</i>	4	11.6	10.1
<i>García y López</i>	3	6.9	5.7
<i>Papadakis</i>	2	10.9	9.9
<i>Tanque Evaporímetro</i>	1	13.8	10.7

En la figura 4 se observa el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo de referencia mensual en la provincia de Manabí a partir de

las estaciones de Portoviejo y Chone.

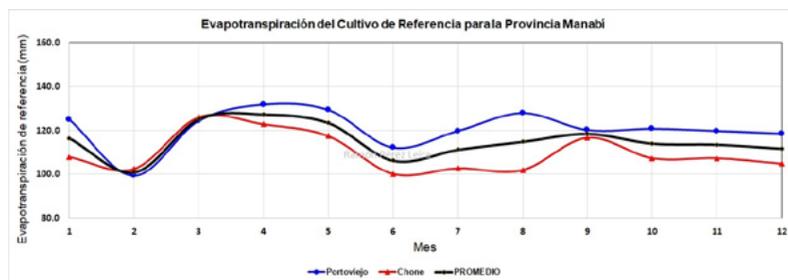


Figura 4- Comportamiento de la evapotranspiración del cultivo de referencia mensual en la provincia de Manabí.

Conclusiones

1. La experiencia internacional muestra que, el procesamiento de la evapotranspiración es un requisito para la realización de un proyecto de riego. En Ecuador no se encontraron estudios que aborden esta temática para el territorio de Manabí, por lo tanto, estos resultados constituyen un aporte científico que servirá de base para los proyectos de riego y drenaje que se desarrollen.

2. Se analizaron y se procesaron los datos climatológicos de 49 estaciones meteorológicas en la Provincia, de las cuales solo las estaciones de Portoviejo y Chone reunían los requisitos para el procesamiento estadístico de la evaporación.

3. El empleo de diez modelos estadísticos y empíricos para definir el año de la evaporación del 25% de probabilidad de sobrepaso evidencia que para Chone se cumple en el año 1991 y para Portoviejo en el año 1993, por lo tanto estos registros constituyen la base para los proyectos de riego que se pretendan realizar.

4. Se aplicaron diez métodos para cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, el empleo de estos está ligado a las variables climatológicas que se registran en los anuarios del INAMHI.

5. Del análisis estadístico aplicado a los diez métodos para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia se evidencia que el método más apropiado es el de Blaney-Criddle, debido que su porcentaje de error es el más bajo.

6. Los métodos Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani requieren de una gran cantidad de datos climatológicos como son: la temperatura, la radiación solar, la radiación global, la humedad relativa, la velocidad de viento y las horas de sol por lo que a pesar de su precisión, se pueden ver limitados en su aplicación.

7. La evapotranspiración para la provincia de Manabí refleja que los meses con mayores valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia son marzo y abril, mientras que febrero y junio son los meses con menores valores.

Bibliografía

- Campos D.F., A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- Colunge, J. y Legarda, L. (1986). *Evaluación de varios métodos*. Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/viewFile/1330/1625>
- Doorembos, J. y Pruitt, W. O. (1977). *Crop Water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-f2430e.pdf>
- FAO. (2006). Evapotranspiración de los cultivos. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje: Vol. No. 56. Roma. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- Pacheco et al. (1995). *Riego y Drenaje*. Playa. Ciudad de la Habana.
- Raes D. (2013). "Frequency analysis of rainfall data", College on Soil

- Physics – 30th Anniversary (1983-2013), International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italia. Recuperado de <http://indico.ictp.it/event/a12165/session/21/contribution/16/material/0/0.pdf>
- Rivadeneira V., J.F. (2014). *Evaluación del Efecto del Cambio Climático bajo Escenarios de Emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador*. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/58552>
- SENPLADES (2013). Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Recuperado de www.buenvivir.gob.ec/documents/10157/26effa35-aaa8-4aec-a11c-be69abd6e40a
- Souza, P. F.F; Dal, P.E.; Vázquez M., R.M; Sánchez-Román, R. M.; Orellana G., M.G. y Escobedo, J.F. (2017). Estudio Comparativo da Evapotranspiracao de Referencia entre localidades no estado de Sao Paulo e na Provincia de Habana. *Irriga, Botucatu*, (21), 2, 384-397.
- Valencia, V. (2010). *Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca*. Bogotá D.C. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis369.pdf>
- Vargas, Y. (2011). *Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa*. Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3858/1/820021.2010.pdf>
- Vega, E. y Jara, J. (2009). *Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del Ecuador*. Concepción. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n3/a06v29n3.pdf>
- Zambrano, M. (2013). *Tierra Bella Manabí*. Recuperado de <http://tierrabellamanabi.blogspot.com/2013/06/produccion.html>

EL RIEGO EN EL PROYECTO MULTIPROPÓSITO CHONE: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE LOS SUELOS.

Ramón Pérez Leira

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Riego y Drenaje y Doctor en Ciencias Técnicas.

Correo: rperezleira@gmail.com

Héctor Germán Cedeño Caicedo

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone. Ecuador.

Correo: thefather912010@hotmail.es

José Darío Zambrano Gómez

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone. Ecuador. Chone.

Correo: j_daris-may@hotmail.com

Eric Cabrera Estupiñán

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone. Ecuador. Ingeniero Hidráulico y Doctor en Ciencias Técnicas. Correo: ecabrerae@gmail.com

Carlos Geovanny Moreira Muñoz

Ingeniero Zootecnista. Master en Ciencias. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Chone. Ecuador.

Correo: cgeovanny.uleam@gmail.com

Resumen

El presente trabajo se realizó dentro del Proyecto de Investigación "Análisis de la Factibilidad del Riego por Aspersión para el Proyecto Multipropósito Chone", desarrollado por la Universidad Laica Eloy

Alfaro de Manabí durante los años 2016 al 2017. El objetivo previsto fue analizar el comportamiento de las propiedades hidrofísicas de los suelos en el área de las 3 mil hectáreas previstas a regar con el Proyecto Multipropósito Chone. Se determinó la Capacidad de Campo, la Velocidad de Infiltración, la Densidad Aparente, Densidad Real y Porosidad hasta 50 cm de profundidad en los suelos clasificados con textura fina y media. Los resultados muestran valores de Capacidad de Campo promedio en el intervalo de 31 a 40% pss. El comportamiento de la lámina infiltrada acumulada en el suelo que se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.96. La Velocidad de Infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 50 y 100 mm/h y la estabilización de este parámetro se alcanzó entre los 80 y 100 minutos, destacándose la existencia de dos tipos de suelo con diferentes parámetros de infiltración que no estuvieron asociados de manera exclusiva a la textura de los suelos. Se alcanzó un valor promedio de Densidad Aparente de 1.15 g/cm³ y un promedio de Densidad Real en el orden de 2.53 g/cm³. El valor de la porosidad promedio fue de 52.2%.

Palabras clave: riego, suelo, infiltración, densidad, capacidad de campo.

IRRIGATION IN THE MULTIPURPOSE CHONE PROJECT: STUDY OF THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF SOILS.

Abstract

The present work was carried out within the Research Project “Analysis of the Feasibility of the Sprinkler Irrigation for the Chone Multipurpose Project”, developed by the Laica Eloy Alfaro de Manabí University during the years 2016 to 2017. The proposed objective was to analyze the behavior of hydrophysical properties of soils in the area of the 3 thousand hectares foreseen to irrigate with the Chone Multipurpose Project are presented.

Field Capacity, Infiltration Velocity, Apparent Density, Real Density and Porosity up to 50 cm depth were determined in soils classified with fine and medium texture. The results show mean Field Capability values in the range of 31 to 40 % pss. The behavior of the infiltrated sheet accumulated in the soil was adjusted to a potential type equation with ² coefficients greater than 0.96. The velocity of infiltration of the soil at the beginning of the tests was between 50 and 100 mm/h and the stabilization of this parameter was reached between 80 and 100 minutes, highlighting the existence of two soil types with different infiltration parameters that were not associated exclusively to the texture of the soils. An average Apparent Density of 1.15 g/cm³ and an average Real Density of 2.53 g/cm³ was reached. The value of the average porosity was 52.2 %.

Keywords: irrigation, soils, infiltration, density, field capacity

Introducción

Ecuador registró, en el período 2012-2013, una superficie total de labor agrícola que llega a 7 303 674 hectáreas, según reveló el resultado de la Encuesta de Superficies de Producción realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014). De esa superficie, se pudo determinar que el 46,69% corresponde a pastos cultivados, el 20,67% a pastos naturales, el 19,5% a cultivos permanentes y el 13,5% a cultivos transitorios. Las provincias con mayor superficie de labor agrícola son Manabí (15,48%), Guayas (11,26%), Loja (7,64%), Los Ríos (7,25%) y Esmeraldas (7,11%). Las cifras reportadas demuestran que Manabí es la provincia con mayor superficie agropecuaria del país, con 1.2 millones de hectáreas. Los cultivos permanentes en Manabí abarcan una superficie sembrada de 475 622 ha, dentro de los cuales se destaca el Cacao, el Café, el Plátano y los Cítricos. Estos cuatro cultivos permanentes representan cerca del 74% de la superficie en la Región y más del 50% de la producción total de la provincia. (INEC, 2014)

En los últimos años el país ha destinado cuantiosos recursos al desarrollo de una infraestructura hidráulica que permita potenciar el riego de los cultivos e incrementar con ello las producciones agrícolas. El Proyecto Multipropósito Chone es una obra hidráulica emblemática que ya ha sido ejecutada en su primera fase con un costo superior a los 1200 millones de dólares y que tiene como objetivo embalsar un volumen superior a 113 millones de metros cúbicos, y que ayudará a mitigar las inundaciones en la ciudad de Chone, ocasionadas por crecidas del río Chone. Estos dos componentes servirán como base para la implementación de los futuros componentes o fases: sistema de riego, sistema de agua potable y alcantarillado pluvial de la ciudad Chone. Sin embargo, a pesar de estas cuantiosas inversiones en el país, aún predominan formas empíricas y poco tecnificadas de riego en zonas con grandes potencialidades productivas.

Son muy escasos e insuficientes los estudios realizados en Chone con el objetivo de conocer las propiedades de los suelos con fines de riego. Tampoco se han encontrado reportes de publicaciones que establezcan el régimen de riego de los principales cultivos en dicha zona sobre bases científicas.

A partir de esta problemática se desarrolla este trabajo que tiene como objetivo determinar las propiedades hidrofísicas de los suelos en el área de riego del Proyecto Multipropósito Chone para su posterior empleo en la definición del Régimen de Riego de los cultivos.

Materiales y Métodos

La zona de estudio está ubicada al noreste de Chone (prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone) y abarca una superficie total de 3 mil hectáreas (figura 1).



Figura 1. Delimitación del Área de Estudio en la región Costa, Provincia Manabí. Ecuador.

Se tomaron muestras no probabilísticas para definir los puntos de observación en el campo. A partir del criterio de Conveniencia se definieron 8 puntos para el estudio de los suelos. La selección de los puntos de observación se realizó a partir de los siguientes criterios:

- Que estuvieran ubicados en las dos texturas de suelo (media y fina) en proporciones y ubicaciones acorde a la magnitud y distribución de las mismas.
- Que los puntos estuvieran ubicados en áreas asequibles con medios de transporte ligero.
- La existencia de energía eléctrica y fuentes de agua para poder disponer de los mismos durante la ejecución de las pruebas de campo.
- Que los suelos analizados estuvieran siendo utilizados con fines agrícolas y lo más alejado posible de influencias antrópicas que modificaran sus propiedades naturales.

A partir de estas consideraciones se definieron 8 puntos (tres para la textura fina del suelo: identificados como F-1, F-2 y F-3 y 5 puntos para la textura media del suelo: M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5). La delimitación del área vinculada al Proyecto Multipropósito Chone (3 mil ha) así como

la ubicación de los puntos de estudio se pueden apreciar en la figura 2.

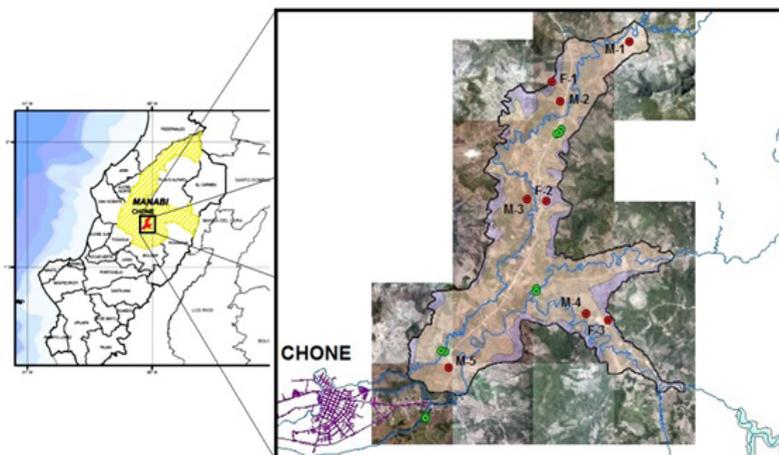


Figura 2. Área de estudio en el Proyecto Multipropósito Chone diferenciada por texturas de suelo según MAGAP (2016) y ubicación de los puntos a muestrear.

Determinación de las Propiedades Hidrofísicas del Suelo.

Se realizaron pruebas para determinar la capacidad de campo, la velocidad de infiltración, la densidad real, la densidad aparente y la porosidad del suelo. El procedimiento para determinar cada una de las propiedades hidrofísicas se describe a continuación:

Capacidad de campo: Se determinó por el método de la Plazoleta de Inundación (ONN, 2014). Las muestras de suelo se tomaron después de transcurridas 72 horas de la saturación a partir de considerar que los suelos eran de textura fina y media. Se tomaron tres muestras para cada horizonte de 10 cm de espesor desde la superficie hasta 50 cm de profundidad (5 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm y 40-50 cm). Lo cual genera un total de 15 muestras de suelo. Esta operación se efectuó para una réplica en la misma plazoleta, lo cual generó un total de 30 muestras (dos perforaciones con 15 muestras en cada perforación).

Velocidad de Infiltración: Se determinó por el método del Infiltrómetro de doble anillo descrito por Walker (1989). Esta técnica es una de las más utilizadas por la poca complejidad que requiere en comparación con las otras formas de evaluación. Consiste en penetrar el suelo con dos anillos de metal colocados de manera concéntrica. Los anillos pueden tener una altura de 30 a 40 cm y diámetros de: 30 a 40 cm (el cilindro interior) y de 50 a 60 cm el cilindro exterior. De manera simultánea se suministra agua en ambos cilindros y se comienzan a realizar mediciones de los niveles de agua en el cilindro interior mediante de una regla con un flotante colocada en la parte superior. Se realiza un registro de los niveles infiltrados y de los suministros de agua para mantener los niveles estables en ambos cilindros a lo largo del tiempo (figura 3). Las mediciones finalizan cuando se evidencia una infiltración estable a lo largo del tiempo.



Figura 3. Colocación de los Anillos de Infiltración para la determinación de Velocidad de Infiltración del suelo en uno de los puntos de observación.

Densidad real, densidad aparente y porosidad: Se determinaron a partir de muestras extraídas en una calicata efectuada en el suelo en cada uno de los ocho puntos de estudio (figura 4) y procesadas en el laboratorio por el método del picnómetro. (Secretaría de Medio Ambiente

y Recursos Naturales, 2002)



Figura 4. Extracción de muestras en calicatas y procesamiento en el laboratorio para la determinación de la densidad real, densidad aparente y porosidad.

Resultados y Discusión

Resultados de la evaluación de la Capacidad de Campo

El comportamiento de esta propiedad en el perfil de suelo hasta 50 cm de profundidad para los ocho puntos estudiados se puede apreciar en la figura 5.

Como resultado de este análisis es posible resumir que el comportamiento de la Capacidad de Campo en los suelos de textura fina ofreció valores promedio que están en el intervalo de 31 a 40% pss. En cambio, para los suelos de textura media estos valores estuvieron en el intervalo de 35 a 40% pss. En ambas texturas se pudo comprobar un comportamiento más estable para los primeros 20 cm de profundidad y una mayor variabilidad de los valores en las profundidades de 30 a 50 cm.

A pesar de que los datos tomados en este estudio exploratorio no son suficientes, es posible percibir una asociación entre el comportamiento de la Capacidad de Campo con su ubicación espacial atendiendo a la textura del suelo. Se aprecia que existe una correspondencia entre los valores más altos de esta propiedad con su ubicación en zonas declaradas con textura media así como los menores valores de Capacidad de Campo

estuvieron localizados en suelos declarados con textura fina.

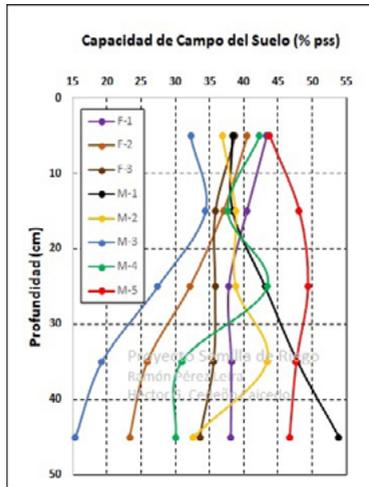


Figura 5. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad para los ocho puntos estudiados.

Resultados de la evaluación de la Velocidad de Infiltración.

En el análisis del comportamiento de la Velocidad de Infiltración y de la lámina Infiltrada en el suelo se identifican suelos con parámetros de infiltración que pueden ser ubicados en dos grupos:

1- Suelos con velocidades de infiltración altas (puntos F-1, F-2, F-3, M-1, M-4 y M-5). La ecuación de lámina infiltrada acumulada en estos suelos se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.96 en todos los casos. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 50 y 90 mm/h y la estabilización de este parámetro se alcanzó entre los 80 y 100 minutos de haberse iniciado la prueba (ver figura 6).

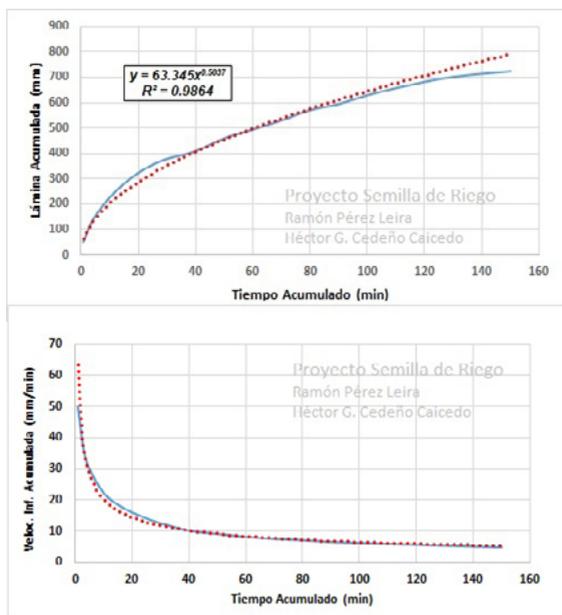


Figura 6. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-1 (similar al de los puntos F-2, F-3, M-1, M-4 y M-5).

2- Suelos con velocidades de infiltración bajas (puntos M-2 y M-3). La ecuación de lámina infiltrada acumulada en el suelo que se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.85 en ambos los casos. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 10 y 20 mm/h y la estabilización de este parámetro se alcanzó entre los 40 y 80 minutos de haberse iniciado la prueba (ver figura 7).

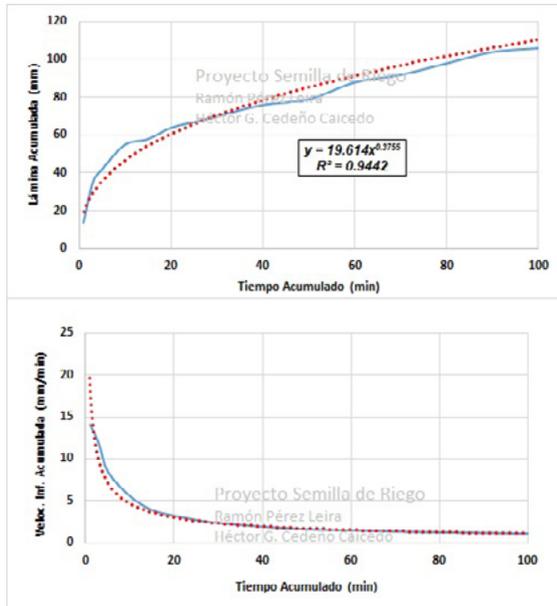


Figura 7. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-2 (similar al punto M-3).

Este resultado contradictorio con el tipo de texturas de suelo hace suponer dos hipótesis:

1- Que el criterio de la clasificación del suelo atendiendo a la textura no es suficiente para establecer asociaciones entre esta propiedad física y la velocidad de infiltración. Sobre todo si se observa que, contrario a lo que sucede de manera habitual, los mayores valores de infiltración del suelo se obtuvieron en los puntos ubicados en zonas identificadas con textura fina y como contraste los menores valores de infiltración se obtuvieron en suelos de textura media.

2- Que el grado de precisión que reflejan los mapas de textura de suelo sea bajo, lo cual permite la ocurrencia de errores en los límites de textura que en los mismos se reflejan.

A partir de estos resultados no es posible demostrar que exista una

asociación entre el comportamiento de la Velocidad de Infiltración y la textura del suelo, lo que hace considerar la influencia que pueden tener otros factores en este parámetro hidrofísico como son la existencia de estratos subyacentes con menos permeabilidad que los superficiales, así como la compactación y el uso que hayan tenido estos suelos durante un tiempo prolongado y el grado de precisión de los mapas de suelo que se disponen.

Resultados de la evaluación de la Densidad Real.

Los valores de Densidad Real del suelo para los puntos ubicados en suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 2.64 g/cm^3 mientras que para los suelos de textura media solo alcanzaron un valor de 2.41 g/cm^3 . El valor promedio de todos los puntos fue de 2.53 g/cm^3 , lo cual coincide con los valores de referencia reflejados por otros autores. En la figura 8 se observa que este parámetro mostró una estabilidad a lo largo del perfil de suelo.

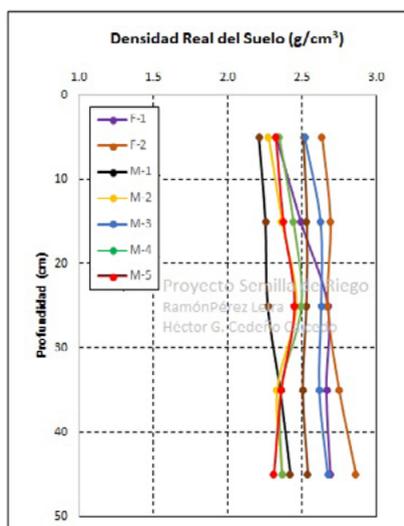


Figura 8. Comportamiento de la Densidad Real del suelo en los ocho puntos.

Resultados de la evaluación de la Densidad Aparente.

Durante el procesamiento de las muestras se decidió descartar la muestra del punto F-3 debido a imprecisiones en la manipulación de la misma en el laboratorio. Por tal motivo solo se reflejarán resultados de siete puntos. Los valores de Densidad Aparente del suelo para los puntos ubicados en suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 1.22 g/cm³ mientras que para los suelos de textura media solo alcanzaron un valor de 1.08 g/cm³. El valor promedio de todos los puntos fue de 1.15 g/cm³, lo cual coincide con los valores de referencia de 1 a 1.6 g/cm³ indicados por Brady (2010).

Como se observa en la figura 9, este parámetro también mostró una estabilidad a lo largo del perfil de suelo estudiado con ligeras variaciones entre los 20 y 40 cm de profundidad.

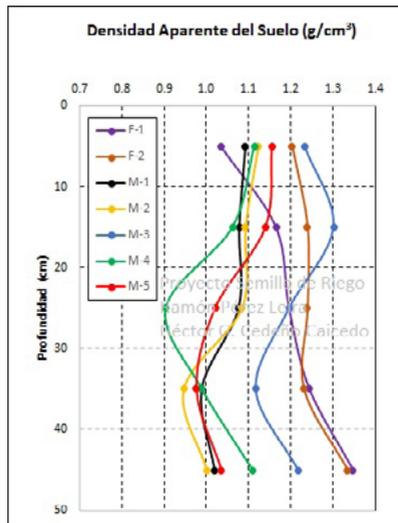


Figura 9. Comportamiento de la Densidad Aparente del suelo en siete puntos.

Resultados de la determinación de la Porosidad.

Debido al inconveniente presentado con la muestra del punto F-3, sólo se pudo determinar la porosidad en siete de los ocho puntos definidos. Los valores de Porosidad del suelo para los puntos ubicados en suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 51.83% mientras que para los suelos de textura media alcanzaron un valor de 52.52%. El valor promedio de todos los puntos fue de 52.18%, con lo cual se evidencia poca diferencia entre la porosidad de los suelos de textura fina y media.

En la figura 10 se puede apreciar que este parámetro también mostró una ligera variación a lo largo del perfil de suelo entre los 15 y 35 cm de profundidad.

Estos valores de porosidad concuerdan con el obtenido por Carrera-Villacrés (2017) en su caracterización físico-química de los suelos en la zona de riego del Proyecto Multipropósito Chone en el cual obtuvo un valor promedio de 50.6%.

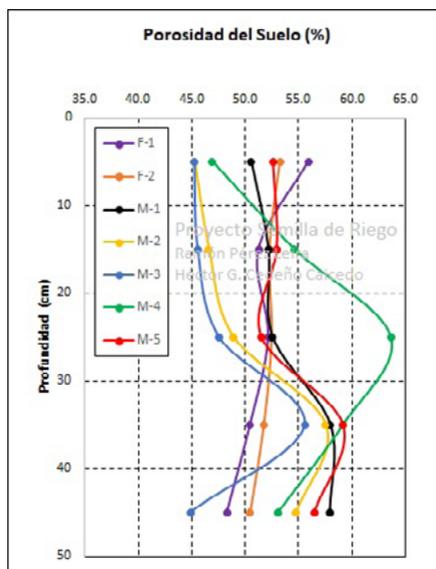


Figura 10. Comportamiento de la Porosidad del suelo en los siete puntos.

Conclusiones

1. El estudio realizado sobre el comportamiento de la Capacidad de Campo del suelo en la zona prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone muestra que en los suelos de textura fina se alcanzaron valores promedio en el intervalo de 31 a 40% pss. En cambio, para los suelos de textura media estos valores estuvieron en el intervalo de 35 a 40% pss. En ambas texturas se pudo comprobar un comportamiento más estable para los primeros 20 cm de profundidad y una mayor variabilidad de los valores en las profundidades de 30 a 50 cm.

2. La velocidad de infiltración de los suelos mostró un comportamiento que puede ser caracterizado en dos grupos: suelos con alta velocidad de infiltración con valores máximos al inicio entre los 50 y 90 mm/h y una estabilización de este parámetro se después de los 80 a 100 minutos de prueba y suelos con baja velocidad de infiltración con valores máximos de al inicio entre los 10 y 20 mm/h y una estabilización de este parámetro entre los 40 y 80 minutos de haberse iniciado la prueba

3. No se demuestra que exista una asociación entre el comportamiento de la Velocidad de Infiltración y la textura del suelo, lo que hace considerar para próximos estudios la influencia que pueden tener en este parámetro hidrofísico otros factores como son: la existencia de estratos subyacentes con menos permeabilidad que los superficiales, el grado de compactación, el uso que hayan tenido estos suelos durante un tiempo prolongado y el grado de precisión de los mapas de suelo de los que se disponen.

4. Los valores de Densidad Real del suelo para los puntos ubicados en suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 2.64 g/cm³ mientras que para los suelos de textura media solo alcanzaron un valor de 2.41 g/cm³ con un valor promedio para todos los puntos de 2.53 g/cm³.

5. Los valores de Densidad Aparente de los suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 1.22 g/cm³ mientras que para los

suelos de textura media solo alcanzaron un valor de 1.08 g/cm^3 con un promedio de 1.15 g/cm^3 para todos los puntos.

6. Los valores de Porosidad del suelo para los puntos ubicados en suelos de textura fina presentaron un valor promedio de 51.8% y para los suelos de textura media alcanzaron un valor de 52.52% con un promedio de 52.18% para todos los puntos con lo cual se evidencia poca diferencia de porosidad para ambas. A pesar de ser un resultado contradictorio asociado a las texturas finas con menor porosidad, su causa puede estar relacionada al uso de los suelos finos para ganadería, lo cual le transfiere una mayor compactación.

Recomendaciones

1- Ampliar la densidad de puntos a analizar en el área de estudio con vistas a poder hacer un análisis geoestadístico de su distribución espacial.

2- Hasta tanto no se obtengan datos más precisos de las propiedades Hidrofísicas de los suelos en el área prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone, estos resultados deben ser considerados como un acercamiento a las condiciones reales para futuros proyectos y planificaciones del régimen de riego en la región.

Bibliografía

- Brady, N. C. (2010). *Elements of the Nature and Properties of Soils*. Pearsons.
- Carrera-Villacrés, D.; Guevara G., P. V. y Gualichicomín J., G.N. (2017). Caracterización Físico-Química desde el punto de vista Agrícola de los suelos en la zona de Riego del Proyecto Multipropósito Chone. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/277004400>
- INEC. (2014). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Recuperado de <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadisticas-economicas>
- MAGAP. (2003). v2 - Mapa de Suelos (Variables Pendiente, Taxonomía y Textura) del Ecuador continental, escala 1:250.000, año 2003. Recuperado de <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/66fb5641-7260-443c-bbaf-96dbc66f8d56>
- ONN. (2014). *Oficina Nacional de Normalización. NC 1042: Calidad del Suelo - Determinación de la Capacidad de Campo*. La Habana.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. *Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis*. México. Diario Oficial.
- Walker, W. R. (1989). *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 45. Roma.

ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DE RIEGO PARA CULTIVOS DE INTERÉS ECONÓMICO EN EL CANTÓN CHONE-ECUADOR

Ramón Pérez Leira

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Riego y Drenaje y Doctor en Ciencias Técnicas. Manabí, Ecuador.

Correo: rperezleira@gmail.com

Ramón Agustín Mieles Pico

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: agustinmieles2008@hotmail.com

Luis Alfredo Cifuentes Cevallos

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: chicho_cifuentes@hotmail.com

Dany Marón Aveiga Falcones

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Extensión Chone. Manta, Ecuador.

Correo: aveigafalcones@gmail.com

Resumen

El presente trabajo se realizó dentro del Proyecto de Investigación “Análisis de la Factibilidad del Riego por Aspersión para el Proyecto Multipropósito Chone”, desarrollado por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí durante los años 2016 al 2017. Este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar el Régimen de Riego de cinco cultivos de interés económico en las condiciones edafoclimáticas del cantón Chone: Maíz (*Zea Mays*), Pimiento (*Capsicum Annuum*), Maní (*Arachis*

Hypogaea), Cítricos (Citrus) y Cacao (Theobroma Cacao). Se desarrollaron diferentes escenarios de riego que incluyeron dos texturas de suelo y dos períodos de riego para los cultivos temporales (riego en época de seca y riego complementario en época de lluvia). Para el cultivo del maíz se requieren dos riegos complementarios si fue sembrado en época de lluvia y durante el periodo seco se requieren de 9 a 10 riegos con una dosis total de 3535 m³/ha a 3735 m³/ha. Las dosis totales de riego máximas en los cultivos de pimiento y maní fueron de 3424 m³/ha y 3837 m³/ha respectivamente, con 11 riegos durante el ciclo de vida del pimiento y 18 riegos para el maní. Los resultados muestran que no se requieren riegos complementarios en época de lluvia para estos dos cultivos. El cultivo de los cítricos requiere una dosis total de riego de 4358 m³/ha a 4582 m³/ha distribuida en 5 riegos durante los meses de junio a noviembre. El cacao demanda una dosis anual de riego entre 5499 m³/ha y 5665 m³/ha distribuidos en 12 ó 13 riegos durante los meses de mayo a diciembre.

Palabras clave: cultivo, suelo, ciclo, lluvia, dosis de riego.

ANALYSIS OF THE IRRIGATION REGIME FOR ECONOMIC INTEREST CROPS IN CHONE-ECUADOR.

Abstract:

The present work was carried out within the Research Project “Analysis of the Feasibility of the Sprinkler Irrigation for the Chone Multipurpose Project”, developed by the Laica Eloy Alfaro de Manabí University during the years 2016 to 2017. This study was developed with the objective of determine the Irrigation Regime of five crops of economic interest under the edafoclimatic conditions of the canton Chone: Corn (*Zea Mays*), Pepper (*Capsicum Annuum*), Peanuts (*Arachis Hypogaea*), Citrus (*Citrus*) and Cocoa (*Theobroma Cacao*). Different irrigation scenarios

were developed that included two soil textures and two irrigation periods for temporary crops (irrigation during the dry season and complementary irrigation during the rainy season). The results show that complementary irrigations are not required during the rainy season for pepper and peanut crops. For the cultivation of corn, two additional irrigations are required if it was planted during the rainy season and during the dry period and 9 to 10 irrigations are required with a total dose of 3535 m³/ha at 3735 m³/ha. The maximum total irrigation doses in the pepper and peanut crops were 3424 m³/ha and 3837 m³/ha respectively, with 11 irrigations during the life cycle of the pepper and 18 irrigations for the peanut. The results show that complementary irrigations are not required during the rainy season for both crops. The cultivation of citrus fruits requires a total irrigation dose of 4358 m³/ha at 4582 m³/ha distributed in 5 irrigations during the months of June to November. The cocoa demands an annual dose of irrigation between 5499 m³/ha and 5665 m³/ha distributed in 12 or 13 irrigations during the months of May to December.

Keywords: crop, soil, cycle, rain, irrigation dose

Introducción

Según reveló el resultado de la Encuesta de Superficies de Producción realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014), Ecuador registró, en el período 2012-2013, una superficie total de labor agrícola que llega a 7 303 674 hectáreas. El 46.7% de esa superficie, se corresponde a pastos cultivados, el 20,67% a pastos naturales, el 19,5% a cultivos permanentes y el 13,5% a cultivos transitorios. Las provincias con mayor superficie de labor agrícola son Manabí (15,48%), Guayas (11,26%), Loja (7,64%), Los Ríos (7,25%) y Esmeraldas (7,11%). Las cifras reportadas demuestran que Manabí es la provincia con mayor superficie agropecuaria del país, con 1.2 millones de hectáreas. Los

cultivos permanentes en Manabí abarcan una superficie sembrada de 475 622 ha, dentro de los cuales se destaca el Cacao, el Café, el Plátano y los Cítricos. Estos cuatro cultivos permanentes representan cerca del 74% de la superficie en la Región y más del 50% de la producción total de la provincia. (INEC, 2014)

En los últimos años el país ha destinado cuantiosos recursos al desarrollo de una infraestructura hidráulica que permita potenciar el riego de los cultivos e incrementar con ello las producciones agrícolas. El Proyecto Multipropósito Chone es una obra hidráulica emblemática que ya ha sido ejecutada en su primera fase con un costo superior a los 1200 millones de dólares y que tiene como objetivo embalsar un volumen superior a 113 millones de metros cúbicos, y que ayudará a mitigar las inundaciones en la ciudad de Chone, ocasionadas por crecidas del río Chone. Estos dos componentes servirán como base para la implementación de los futuros componentes o fases: sistema de riego, sistema de agua potable y alcantarillado pluvial de la ciudad Chone. Sin embargo, a pesar de estas cuantiosas inversiones en el país, aún predominan formas empíricas y poco tecnificadas de riego en zonas con grandes potencialidades productivas. No se evidencia la práctica del análisis del Régimen de Riego de los cultivos previo a su siembra (Régimen de Riego de Proyecto) ni a la proyección de los Sistemas de Riego.

Son muy escasos e insuficientes los estudios realizados en Chone con el objetivo de conocer el comportamiento de las variables climatológicas y las propiedades de los suelos con fines de riego. Tampoco se han encontrado reportes de publicaciones que establezcan el régimen de riego de los principales cultivos en dicha zona sobre bases científicas.

A partir de esta problemática se desarrolla este trabajo que tiene como objetivo de determinar el Régimen de Riego de cinco cultivos de interés económico en las condiciones edafoclimáticas del cantón Chone.

Materiales y Métodos

La zona de estudio está ubicada al noreste de Chone (prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone) y abarca una superficie total de 3 mil hectáreas (figura 1).



Figura 1. Delimitación del Área de Estudio (en rojo) en la región Costa, Provincia Manabí. Ecuador.

Información climática.

La información del comportamiento de las precipitaciones y la evaporación mensuales para establecer el régimen de riego se obtuvo a partir del procesamiento de los datos de la estación meteorológica ubicada en Chone. El análisis realizado por Cabrera y cols. (2017), permitió obtener el año del 75% de probabilidad de sobrepaso para las precipitaciones y del 25% de probabilidad de sobrepaso para la evaporación. Los mismos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución mensual de las precipitaciones y la evaporación para el Régimen de Riego en Chone

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación 75 % (mm)	119	189,8	105,5	319	4,7	1,4	0,8	0,2	1,5	2,5	1,1	57,4
Evaporación 25 % (mm)	135,1	90,2	107,5	112,9	102,1	81,4	93,7	110	125	105,8	118,5	118

Información de suelos.

Para definir las reservas de humedad en el suelo se trabajó con las propiedades hidrofísicas de los suelos, obtenidas por Pérez y cols. (2017). Su comportamiento por profundidades y para los dos tipos de texturas existentes se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades hidrofísicas para dos texturas de suelo a diferentes profundidades en Chone.

Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g/cm ³)		Capacidad de Campo (% pss*)	
	Textura Fina	Textura Media	Textura Fina	Textura Media
0-10	1,12	1,14	40,86	38,69
10-20	1,20	1,13	37,77	39,48
20-30	1,22	1,06	35,26	40,43
30-40	1,24	1,00	33,25	37,81
40-50	1,34	1,08	31,69	35,73
Promedio	1,22	1,08	35,77	38,43

* (%pss): Porcentaje del peso de suelo seco.

A criterio de los autores, se trabajó con un valor de límite productivo (Nivel de Agotamiento Permissible) del 85% de la Capacidad de Campo, a pesar de conocer que este valor es superior al indicado por otros autores (30 al 70% de la Reserva Máxima de Humedad según Allen y cols. 2006).

Información de los cultivos.

El régimen de Riego de Proyecto se determinó para cinco cultivos de interés económico en la zona: Cacao, Pimiento, Maíz, Cítricos y Maní.

Los datos relacionados con los coeficientes del cultivo (Kc), las profundidades radicales (H) y duración de cada fase de desarrollo del cultivo en días, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Datos de los cinco cultivos para el Régimen de Riego de Proyecto

Cultivo		Fases de Desarrollo					Fuente
Maíz	Días	25	80		30		Calderón (2014)
	Kc	0.3	1.2		0.5		
	Días	135					
	H (m)	0.60					
Pimiento	Días	30	75	20			Allen y cols. (2006)
	Kc	0.6	1.05	0.9			
	Días	125					
	H (m)	0.50					
Maní	Días	10	25	30	45	20	Torres (2016)
	Kc	0.45	0.75	1.03	0.8	0.58	
	Días	130					
	H (m)	0.35					
Cítricos	Días	60	90	120		95	Calderón (2014)
	Kc	0.7	0.7	0.65		0.7	
	Días	365					
	H (m)	1.40					
Cacao	Días	365					Allen y cols. (2006)
	Kc	0.90					
	Días	365					
	H (m)	0.70					

Cálculo del Régimen de Riego.

El cálculo del Régimen de Riego de Proyecto se realizó a partir de determinar las reservas de humedad máximas y mínimas en el suelo a partir de las expresiones 1 y 2.

$$W_{\text{máx}} = 100 \cdot H \cdot D_a \cdot CC_{\%pss} \quad (1)$$

donde: $W_{m\acute{a}x}$: reserva de humedad máxima del suelo
(m^3/ha)

H: profundidad radical del cultivo (m)

Da: densidad aparente (g/cm^3)

$CC_{\%pss}$: capacidad de campo del suelo (%pss)

$$W_{m\acute{i}n} = 100 \cdot H \cdot Da \cdot Lp \quad (2)$$

donde: $W_{m\acute{i}n}$: reserva de humedad mínima del suelo
(m^3/ha)

Lp: Límite productivo o de agotamiento (definido como el 85 % $CC_{\%pss}$ por decisión de los autores)

La dosis neta de riego a aplicar se determina a partir de la expresión 3:

$$mpn = W_{m\acute{a}x} - W_{m\acute{i}n} \quad (3)$$

donde: mpn: dosis parcial neta de riego (m^3/ha)

Se realizó el cálculo del balance hídrico en el suelo a partir de diferentes escenarios que se detallan a continuación para cada cultivo:

Cultivo del Maíz

- 1- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de seca.
- 2- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de seca.
- 3- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de lluvia.
- 4- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de lluvia.

Cultivo del Pimiento

- 1- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de seca.
- 2- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de seca.
- 3- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de lluvia.
- 4- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de lluvia.

Cultivo del Maíz

- 1- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de seca.
- 2- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de seca.
- 3- Régimen de Riego en suelo de textura fina para época de lluvia.
- 4- Régimen de Riego en suelo de textura media para época de lluvia.

Cultivo de Cítricos

- 1- Régimen de Riego en suelo de textura fina.
- 2- Régimen de Riego en suelo de textura media.

Cultivo de Cacao

- 1- Régimen de Riego en suelo de textura fina.
- 2- Régimen de Riego en suelo de textura media.

De la anterior descripción de resume que se realizó el cálculo del Régimen de Riego para 16 combinaciones de cultivos, suelos y estaciones.

Resultados y Discusión

El resultado del cálculo del régimen de riego en cada uno de los escenarios para el cultivo del Maíz según se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Maíz.

Cultivo	Estación	Textura de suelo	Dosis Total (m ³ /ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (lluvia aprovechable + riego) (m ³ /ha)
Maíz	Seca	Fina	3535	9	15	3620.8
	Seca	Media	3735	10	13	3821.4
	Lluvia	Fina	785	2	Nov-Ene (45)	4212.4
	Luvia	Media	747	2	Nov-Ene (45)	4199.6

Como se puede observar, no existen grandes diferencias entre las dosis requeridas y cantidad de riegos a aplicar en los suelos de textura fina y media. La dosis total requerida por el cultivo en temporada seca oscila entre 3535 m³/ha y 3735 m³/ha y la cantidad de riegos necesarios está en el intervalos de 9 a 10. El intervalo de riego varía de 13 a 15 días. La siembra del maíz en el período lluvioso requiere también de dos riegos complementarios durante los meses de noviembre a enero, con un consumo de 747 m³/ha a 785 m³/ha en dependencia de la textura del suelo.

Estos resultados están en plena correspondencia con los obtenidos en México por Zamora-Salgado y cols. (2011) quienes obtuvieron cifras de riego totales para el cultivo del maíz en el orden de 3560 m³/ha.

En la tabla 5 se muestra el resultado del cálculo del régimen de riego en cada uno de los escenarios para el cultivo del Pimiento.

Tabla 5. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Pimiento.

Cultivo	Estación	Textura de suelo	Dosis Total (m³/ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (Lluvia aprovechable + riego) (m³/ha)
Pimiento	Seca	Fina	3273	10	12	3344.0
	Seca	Media	3424	11	11	3495.1
	Lluvia	Fina	0	0	0	3884.2
	Luvia	Media	0	0	0	3873.5

Para el cultivo del pimiento tampoco se observan grandes diferencias entre las dosis requeridas y cantidad de riegos a aplicar en los suelos de textura fina y media. La dosis total requerida por el cultivo en temporada seca oscila de 3273 m³/ha a 3424 m³/ha y la cantidad de riegos necesarios oscila entre 10 y 11 y el intervalo de riego es de 11 a 12 días. La siembra del pimiento en el período lluvioso no requiere de riegos complementarios.

Las dosis de riego totales están dentro del margen de dosis totales de riego obtenidas por Al-Gharibi y Abu-Awwad (2005) quienes reflejan valores totales de riego para este cultivo entre los 2958 m³/ha y 8420 m³/ha en dependencia de las densidades de plantación que se consideren.

El resultado del cálculo del régimen de riego para el cultivo del Maní en cada uno de los escenarios ofreció los siguientes resultados (tabla 6).

Tabla 6. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Maní.

Cultivo	Estación	Textura de suelo	Dosis Total (m ³ /ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (lluvia aprovechable + riego) (m ³ /ha)
Maní	Seca	Fina	3723	18	7	3924.0
	Seca	Media	3837	17	8	4038.0
	Lluvia	Fina	0	0	0	3721.7
	Luvia	Media	0	0	0	3717.0

La dosis total requerida por el cultivo del Maní en época de lluvia oscila entre 3723 m³/ha y 3837 m³/ha con una cantidad de riegos necesarios entre 17 y 18. El intervalo de aplicación de los riegos estuvo entre 7 y 8 días durante el ciclo del cultivo. Durante el período de lluvias no se requiere de riegos complementarios.

Estos valores son ligeramente inferiores a los expuestos por Doorenbos y Kassam (1988) quienes plantearon que, en dependencia del clima, los requerimientos de agua varían de 5000 a 7000 m³/ha para el período total de dicho cultivo (incluye lluvia aprovechable + riego).

El resultado del cálculo del régimen de riego para cada uno de los escenarios en los Cítricos se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo de los Cítricos.

Cultivo	Estación	Textura de suelo	Dosis Total (m ³ /ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (lluvia aprovechable + riego) (m ³ /ha)
Cítricos	Anual	Fina	4582	5	Jun-Nov (37)	8852.0
		Media	4358	5	Jun-Nov (37)	8687.6

La dosis total requerida durante un año completo para este cultivo varía de 4358 m³/ha a 4582 m³/ha distribuidos en cinco riegos durante los meses de junio a noviembre con intervalos de aplicación de 37 días como promedio.

Estos resultados se aproximan a los obtenidos por el Centro Nacional para la Ingeniería en Agricultura (NCEA, 2017) en Queensland, Australia, donde obtuvieron un consumo de riego total para el riego de los cítricos de 5000 - 8000 m³/ha. Y están muy próximos a los planteados por Doorenbos y Kassam (1988) los cuales definen consumos de agua para el cultivo de 9000 m³/ha a 12000 m³/ha (considerando el consumo que se hace de la lluvia aprovechable durante el año).

Para el cultivo del cacao (tabla 8) se obtuvo un consumo total anual de 5499 m³/ha a 5665 m³/ha distribuidos cifras de 12 a 13 riegos durante los meses de mayo a diciembre con intervalos de aplicación de 15 días.

Tabla 8. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Cacao.

Cultivo	Estación	Textura de suelo	Dosis Total (m ³ /ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (lluvia aprovechable + riego) (m ³ /ha)
Cacao	Anual	Fina	5499	12	May-Dic (20)	9907.1
		Media	5665	13	May-Dic (19)	10058.9

Estos resultados son ligeramente inferiores a los obtenidos por

Romero y Proaño (2008) en su estudio desarrollado en Ecuador en el cual obtuvieron dosis de consumo total entre 12 799 m³/ha y 14 382 m³/ha (incluye Lluvia aprovechable + riego).

Conclusiones

1. El análisis del Régimen de Riego de Proyecto de los cinco cultivos estudiados en el cantón Chone en Ecuador se realizó a partir de la información climatológica y edafológica obtenida de estudios desarrollados en dicho sitio y de un análisis estadístico del comportamiento de la lluvia y la evapotranspiración del cultivo de referencia, lo cual le concede una mayor probabilidad de acierto a los resultados obtenidos.

2. La dosis total requerida por el cultivo del Maíz en temporada seca oscila entre 3535 m³/ha y 3735 m³/ha y la cantidad de riegos necesarios está en el intervalos de 9 a 10. El intervalo de riego varía de 13 a 15 días. La siembra del maíz en el período lluvioso requiere también de dos riegos complementarios durante los meses de noviembre a enero, con un consumo de 747 m³/ha a 785 m³/ha en dependencia de la textura del suelo.

3. El régimen de riego de proyecto para el cultivo del Pimiento muestra una dosis total requerida en temporada seca entre 3273 m³/ha y 3424 m³/ha con una cantidad de riegos entre 10 y 11 y un intervalo de riego de 11 a 12 días. El desarrollo de este cultivo durante el período lluvioso en Chone no requiere de riegos complementarios.

4. La dosis total requerida por el cultivo del Maní en época de lluvia oscila entre 3723 m³/ha y 3837 m³/ha con una cantidad de riegos necesarios entre 17 y 18. El intervalo de aplicación de los riegos estuvo entre 7 y 8 días durante el ciclo del cultivo. Durante el período de lluvias no se requiere de riegos complementarios.

5. Para los Cítricos la dosis total requerida durante un año completo varía de 4358 m³/ha a 4582 m³/ha (en dependencia de la textura del

suelo) distribuidos en cinco riegos durante los meses de junio a noviembre con intervalos de aplicación de 37 días como promedio.

6. Para el cultivo del Cacao se obtuvo una cifra de riego total anual de 5499 m³/ha a 5665 m³/ha distribuidos cifras de 12 a 13 riegos durante los meses de mayo a diciembre con intervalos de aplicación de 15 días.

Bibliografía

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma.
- Al-Gharibi, E.R. y Abu-Awwad, A.M. (2005). Effect of Irrigation Water Quantities and Planting Spacing on Hot Pepper Yield and Efficient Water Use. *Agricultural Sciences*, (32),1, 27-36.
- Cabrera, E. E.; Pérez L., R.; Moreira S., J.R. (2017). Régimen de precipitaciones y evaporación para Riego en el Multipropósito Chone, Ecuador. *RIEMAT*. (2), 2.
- Calderón, B. S.P. (2014). *Evaluación del recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco*, Pichincha. (Tesis de Grado). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3242/1/T-UCE-0004-100.pdf>
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1988). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage paper 33*. Roma.
- INEC. (2014). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Recuperado de <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadisticas-economicas>
- NCEA. (2017). Centro Nacional de Ingeniería en Agricultura. Water for Profit. (2001). Benchmark-Irrigation Citrus. Growcom project, Department of Primary Industries, National Centre for Engineering in Agriculture, Queensland Government's Rural Water

- Use Efficiency Initiative. Recuperado de http://www.growcom.com.au/_uploads/LWR/CB1_Citrus%20TP.pdf
- Pérez L.; Cedeño C., H.G. y Zambrano G., J.D. (2017). *Análisis de las Propiedades Hidrofísicas de los Suelos para Riego en el Proyecto Multipropósito Chone*. Memorias de la Primera Convención Científica Internacional de la UTM 2017.
- Romero, J. y Proaño, J. (2008). Evaluación del efecto del riego por Goteo y Microaspersión en la productividad del cacao (*Theobroma cacao*) CC-51 en un suelo Ustifluent típico en la zona Chongón-Península de Santa Elena Provincia de Guayas. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/12.-Jorge-Romero.-Riego.pdf>
- Torres, S. I. A. (2016). Respuesta del Cultivo del Maní (*Arachis Hipogea* L.) a dos métodos de riego a presión en el Valle de Casanga, Provincia de Loja. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Loja. Recuperado de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10303/1/Torres%20Italo%20Tesis.pdf>
- Zamora-Salgado, S.; Ruiz, E. F.H.; Beltrán, M. A.; Fenech, L. L.; Murillo, A. B.; Loya, R. J. y Troyo, D. E. (2011). Régimen Hídrico del Maíz en una zona árida, determinado en porcentaje de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 181- 186.

ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DE RIEGO PARA CULTIVOS DE INTERÉS ECONÓMICO EN EL CANTÓN SUCRE-ECUADOR

Ramón Pérez Leira

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Riego y Drenaje y Doctor en Ciencias Técnicas.

Correo: rperezleira@gmail.com

Henry Emilio Delgado Anchundia

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: henryd94a@gmail.com

Adrián Ricardo Mendoza Briones

Estudiante Egresado de Ingeniería Civil. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: adrian_brio18@hotmail.com

Resumen

Este trabajo es un resultado preliminar del Proyecto de Investigación “Estudio Edafoclimático para el diseño y operación de los Sistemas de Riego en Manabí”, desarrollado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. El estudio se desarrolló con el objetivo de determinar el Régimen de Riego de cuatro cultivos de interés económico en las condiciones edafoclimáticas del cantón Sucre (Maíz, *Zea Mays*, Maracuyá, *Passiflora edulis*, Papaya, *Carica papaya* y Maní, *Arachis Hypogaea*). Para abordar el estudio se determinaron las propiedades hidrofísicas del suelo en la zona. Para determinar régimen de riego se consideraron dos períodos para los cultivos temporales (riego en época de seca y riego complementario en época de lluvia).

Se determinaron dosis totales de riego de 1 468 m³/ha y de 2 937 m³/ha para el cultivo del maíz sembrado en época de lluvia y en época de seca respectivamente. La cantidad de riegos necesarios varía de 4 a 8 distribuidos en intervalos de 34 a 17 días para los períodos de lluvia y seca. El cultivo del maní demanda una dosis total de 1 459 m³/ha a 3 210 m³/ha. La cantidad de riegos puede variar de 5 a 11 con intervalos de 28 a 13 días según sea el período de lluvia o seca. El cultivo del Maracuyá demanda una dosis de agua anual de 4 903 m³/ha distribuida en 14 riegos con intervalos promedio de 26 días. En cambio, el cultivo de la Papaya requiere de una dosis anual de riego de 8 055 m³/ha distribuida en 23 riegos con un intervalo promedio de 16 días.

Palabras clave: cultivo, suelo, ciclo, lluvia, dosis de riego.

ANALYSIS OF THE IRRIGATION REGIME FOR ECONOMIC INTEREST CROPS IN SUCRE-ECUADOR.

Abstract

This work is a preliminary result of the Research Project “Edaphoclimatic Study for the design and operation of the Irrigation Systems in Manabí”, developed by the Faculty of Engineering of the “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”. The study was developed with the objective of determining the Irrigation Regime of four crops of economic interest in the edaphoclimatic conditions of the canton Sucre (Maiz Zea Mays, Maracuyá, Papaya, Passiflora edulis, and Maní, Arachis Hypogaea). To address the study, the hydrophysical properties of the soil in the area were determined. The irrigation regime considered two periods for temporary crops (irrigation during the dry season and complementary irrigation during the rainy season). Total irrigation doses of 1 468 m³/ha and 2 937 m³/ha were determined for the cultivation of corn planted during the rainy season and during the dry season, respectively. The amount

of irrigation required varies from 4 to 8 distributed in intervals of 34 to 17 days for the rainy and dry periods. Peanut cultivation demands a total dose of 1 459 m³/ha at 3 210 m³/ha. The amount of irrigation can vary from 5 to 11 with intervals of 28 to 13 days depending on the rainy or dry period. The cultivation of passion fruit demands an annual water dose of 4 903 m³/ha distributed in 14 irrigations with average intervals of 26 days. In contrast, the cultivation of Papaya requires an annual irrigation dose of 8 055 m³/ha distributed in 23 irrigations with an average interval of 16 days.

Keywords: crop, soil, cycle, rain, irrigation dose

Introducción

Ecuador registró, en el período 2012-2013, una superficie total de 7 303 674 hectáreas de labor agrícola, según reveló el resultado de la Encuesta de Superficies de Producción realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014). El INEC, manifestó además que las provincias con mayor superficie de labor agrícola son Manabí (15,48%), Guayas (11,26%), Loja (7,64%), Los Ríos (7,25%) y Esmeraldas (7,11%).

Manabí posee una superficie general de 18 940 km² que equivale a 1 894 000 ha. Es la provincia con mayor superficie agropecuaria con 1.2 millones de hectáreas, se dejan solo como zonas para otros usos un promedio de 694 000 ha.

Sin embargo, a pesar de estas cuantiosas inversiones en el país, aún predominan formas empíricas y poco tecnificadas de riego en zonas con grandes potencialidades productivas.

Pérez y cols. (2017) desarrollaron un trabajo específico sobre el cantón Chone en el cual determinan las propiedades hidrofísicas de los suelos con fines de riego en el área prevista a beneficiar con el Proyecto Multipropósito Chone. Simultáneo a este estudio, Cabrera y cols. (2017) estudian el régimen de precipitaciones y evaporación en dicha región

con fines de riego.

Sin embargo, estos resultados incipientes tienen un carácter limitado en su aplicación y aún no se cuenta con estudios a mayor escala que puedan ser válidos para otras zonas dentro de la provincia Manabí.

El conocimiento de las necesidades hídricas en el cantón Sucre son una problemática y una necesidad aún permanente.

En la parroquia Charapotó se ha desarrollado un proyecto de riego por goteo que representa un cambio importante en la producción agrícola de la zona. El Sistema de Riego Localizado “San Ramón” cuenta con una superficie regada de 473 ha por la técnica de riego por goteo.

A pesar de los cuantiosos recursos puestos en función de garantizar el suministro de agua a los cultivos en esa zona, no se cuenta con información suficiente para definir el Régimen de Riego de los principales cultivos de interés económico y social.

A partir de esta problemática se desarrolla este trabajo que tiene como objetivo de determinar el Régimen de Riego de Proyecto (previo a la siembra) de cuatro cultivos de interés económico en las condiciones edafoclimáticas del cantón Sucre.

Materiales y Métodos

La zona de estudio está ubicada al centro de la provincia Manabí (Región Costa) y en la zona centro-sur del cantón Sucre (figura 1)

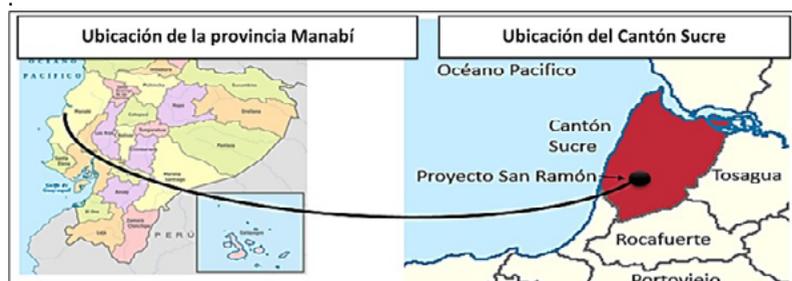


Figura 1. Micro localización del cantón Sucre.

El área que abarca el Proyecto San Ramón tiene una configuración alargada con una extensión superficial de 473.5 ha. En la figura 2 se muestra una imagen satelital del área con la ubicación de tres puntos para el estudio de suelos señalados en color amarillo.

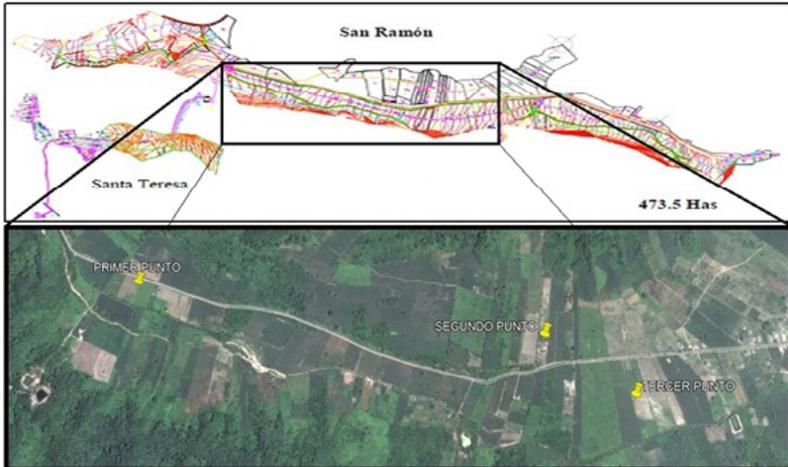


Figura 2. Delimitación del Área de Estudio dentro del Proyecto de Riego “San Ramón”.

(Se muestran tres puntos para el estudio de suelos señalados en amarillo).

Información climática.

La información del comportamiento de las precipitaciones y la evaporación mensuales para establecer el régimen de riego se obtuvo a partir del procesamiento de los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en Rocafuerte y Portoviejo. El análisis realizado por Pérez y cols. (2018), permitió obtener el año del 75% de probabilidad de sobrepaso para las precipitaciones y del 25% de probabilidad de sobrepaso para la evaporación. Los mismos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución mensual de las precipitaciones y la evaporación para el Régimen de Riego en las estaciones más próximas a la zona (Rocafuerte y Portoviejo).

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación 75 % (mm)	25.8	112.0	29.5	73.8	0	6.4	0.5	0	1.0	0	0	5.3
Evaporación 25 % (mm)	91.1	80.9	90.8	89.4	91.1	86.4	87.7	84.6	82.5	85.3		89.6

Información de suelos.

Se realizaron pruebas para determinar la capacidad de campo, la velocidad de infiltración, la densidad real, la densidad aparente y la porosidad del suelo. El procedimiento para determinar cada una de las propiedades hidrofísicas se describe a continuación:

- Capacidad de campo: Se determinó por el método de la Plazoleta de Inundación (ONN, 2014). Las muestras de suelo se tomaron después de transcurridas 72 horas de la saturación a partir de considerar que los suelos eran de textura fina y media. Se tomaron tres muestras para cada horizonte de 10 cm de espesor desde la superficie hasta 50 cm de profundidad (5 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm y 40-50 cm). Lo cual genera un total de 15 muestras de suelo. Esta operación se efectuó para una réplica en la misma plazoleta, lo cual generó un total de 30 muestras (dos perforaciones con 15 muestras en cada perforación) (ver figura 3).



Figura 3. Preparación y extracción de muestras para determinar la Capacidad de Campo del suelo.

- Densidad real, densidad aparente y porosidad: Se determinaron a partir de muestras extraídas en una calicata efectuada en el suelo en cada uno de los tres puntos de estudio y procesadas en el laboratorio por el método del picnómetro (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002).
- Velocidad de Infiltración: Se determinó por el método del Infiltrómetro de doble anillo descrito por Walker (1989). Esta técnica es una de las más utilizadas por la poca complejidad que requiere en comparación con las otras formas de evaluación. Consiste en penetrar el suelo con dos anillos de metal colocados de manera concéntrica. Los anillos pueden tener una altura de 30 a 40 cm y diámetros de: 30 a 40 cm (el cilindro interior) y de 50 a 60 cm el cilindro exterior. De manera simultánea se suministra agua en ambos cilindros y se comienzan a realizar mediciones de los niveles de agua en el cilindro interior mediante de una regla con un flotante colocada en la parte superior (figura 4). Se realiza un registro de los niveles infiltrados y de los suministros de agua para mantener los niveles estables en ambos cilindros a lo largo del tiempo. Las mediciones finalizan cuando se evidencia una infiltración estable a lo largo del tiempo.



Figura 4. Determinación de la Velocidad de Infiltración del Suelo por el Método del Infiltrómetro de doble anillo.

Información de los cultivos.

El régimen de Riego de Proyecto se determinó para cuatro cultivos de interés económico en la zona: Maíz, Maracuyá, Maní y Papaya.

Los datos relacionados con los coeficientes del cultivo (K_c), las profundidades radicales (H) y duración de cada fase de desarrollo del cultivo en días, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Datos de los cuatro cultivos para el Régimen de Riego de Proyecto.

Cultivo		Fases de Desarrollo			Fuente
Maíz	Días	25	80	30	Allen y cols. (2006)
	Kc	0.30	1.20	0.50	
	Días	135			Calderón (2014) Oñate (2016)
	H (m)	0.629			
Maracuyá	Días	60	210	95	Allen y cols. (2006)
	Kc	0.70	0.65	0.70	
	Días	365			Vinuesa (2009) Calderón (2014)
	H (m)	0.60			

Cultivo		Fases de Desarrollo				Fuente
Maní	Días	35	45	35	25	Allen y cols. (2006)
	Kc	0.50	0.80	0.98	0.80	
	Días	140				
	H (m)	0.50				
Papaya	Días	60	90	60	155	Chaterlán y cols.(2012)
	Kc	0.90	1.00	1.10	0.90	
	Días	365				
	H (m)	0.60				

Cálculo del Régimen de Riego.

El cálculo del Régimen de Riego de Proyecto se realizó a partir de determinar las reservas de humedad máximas y mínimas en el suelo a partir de las expresiones 1 y 2.

$$W_{\text{máx}} = 100 \cdot H \cdot Da \cdot CC_{\%pss} \quad (1)$$

donde: $W_{\text{máx}}$: reserva de humedad máxima del suelo
(m³/ha)

H: profundidad radical del cultivo (m)

Da: densidad aparente (g/cm³)

CC_{%pss}: capacidad de campo del suelo (%pss)

$$W_{\text{mín}} = 100 \cdot H \cdot Da \cdot Lp \quad (2)$$

donde: $W_{\text{mín}}$: reserva de humedad mínima del suelo
(m³/ha)

Lp: Límite productivo o de agotamiento (definido como el 85 % CC_{%pss})

La dosis neta de riego a aplicar se determina a partir de la expresión 3:

$$mpn = W_{\text{máx}} - W_{\text{mín}} \quad (3)$$

donde: mpn : dosis parcial neta de riego (m^3/ha)

Resultados y Discusión

Resultados de la evaluación de la Capacidad de Campo.

El comportamiento promedio de esta propiedad en el perfil de suelo hasta 50 cm de profundidad obtenido a partir de los tres puntos evaluados se puede apreciar en la figura 5.

Como resultado de este análisis es posible resumir que el comportamiento de la Capacidad de Campo en los suelos ofreció valores promedio que están en el intervalo de 34 a 44% pss. Se pudo comprobar una disminución gradual de esta propiedad en función de la profundidad y un comportamiento más estable para los últimos 20 cm de profundidad (de 30 a 50 cm).

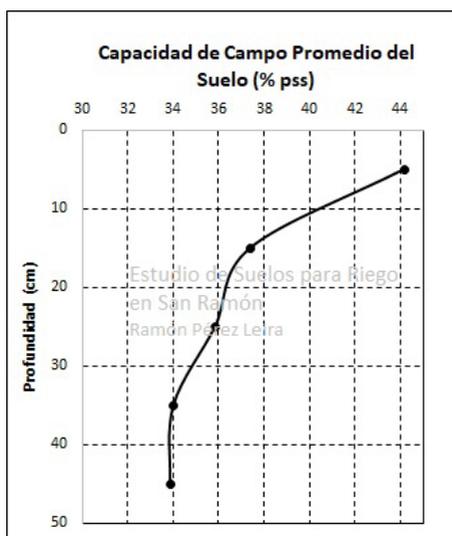


Figura 5. Comportamiento Promedio de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad a partir de los tres puntos estudiados.

El procesamiento de todos los valores ofreció un valor promedio en

todo el perfil analizado (hasta 50 cm de profundidad) de 37.06% pss.

Resultados de la evaluación de la Densidad Real.

Los valores Promedio de Densidad Real del suelo para los tres puntos presentaron un valor promedio de 1.85 g/cm³. En la figura 6 se observa que este parámetro mostró una estabilidad a lo largo del perfil de suelo.

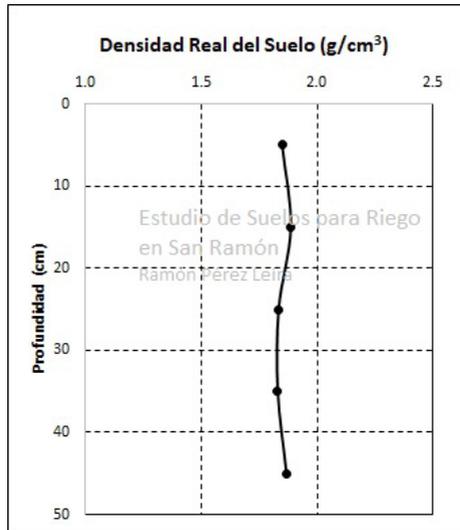


Figura 6. Comportamiento Promedio de la Densidad Real en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad a partir de los tres puntos estudiados.

Resultados de la evaluación de la Densidad Aparente.

Durante el procesamiento de las muestras se decidió descartar la muestra del punto 3 debido a que no ofreció resultados lógicos. Por tal motivo solo se reflejan los resultados de los dos primeros puntos.

En la figura 7 se observa que los valores de Densidad Aparente del suelo también presentaron un comportamiento estable en el perfil con un valor promedio de 1.05 g/cm³.

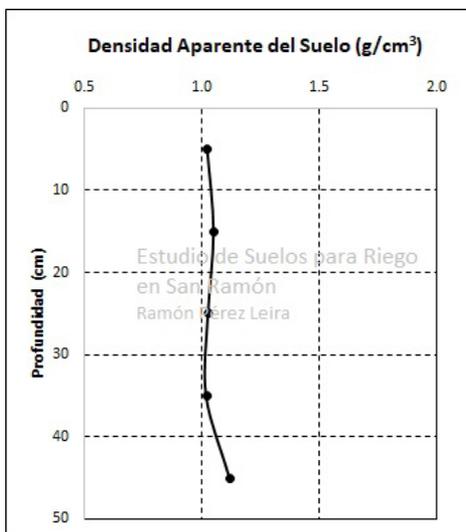


Figura 7. Comportamiento Promedio de la Densidad Aparente en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad a partir de los dos puntos estudiados.

Resultados de la determinación de la Porosidad.

Debido al inconveniente presentado con la muestra del punto 3, sólo se pudo determinar la porosidad en los dos puntos iniciales. En la figura 7 se observa que los valores de Porosidad del suelo estuvieron en el intervalo de 39.78% a 44.03%.

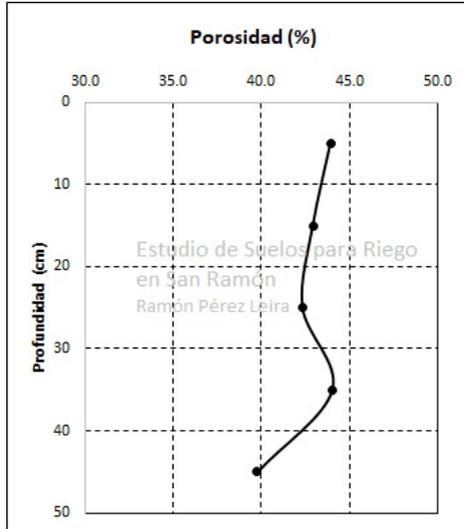


Figura 8. Comportamiento Promedio de la Porosidad en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad a partir de los dos puntos estudiados.

Para esta propiedad se obtuvo un valor promedio de los puntos en todo el perfil de 42.59%.

Resultados de la evaluación de la Velocidad de Infiltración.

En el análisis del comportamiento de la Velocidad de Infiltración en los tres puntos de análisis se muestra en la figura 9.

La ecuación de lámina infiltrada acumulada en estos suelos se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.90 en dos de los puntos. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 3 y 6 mm/min y la estabilización de este parámetro se alcanzó a partir de los 40 minutos de haberse iniciado la prueba con un valor promedio de 2 mm/min.

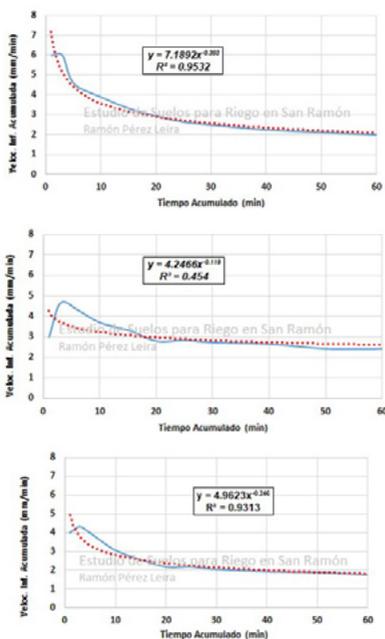


Figura 9. Comportamiento de la Velocidad de Infiltración en los tres puntos estudiados.

Estos resultados evidencian que los suelos en la zona de San Ramón poseen una velocidad de infiltración baja por lo cual es conveniente la aplicación del riego mediante sistemas de riego localizado y las posibilidades del riego por aspersión está muy limitada debido a la baja tasa de infiltración (inferior a 2 mm/min).

Resultados del Régimen de Riego de los Cultivos.

El resultado del cálculo del régimen de riego para el cultivo del Maíz sembrado en las estaciones de lluvia y seca se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Maíz.

Cultivo	Estación	Dosis Total (m³/ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (m³/ha) (lluvia aprovechable + riego)
Maíz	Lluvia	1 468.58	4	Nov-Ene (23)	2 998.22
	Seca	2 937.15	8	17	3 011.15

Como se puede observar, existen grandes diferencias entre las dosis requeridas y cantidad de riegos a aplicar en época de lluvia y seca. La dosis total requerida por el cultivo en temporada de lluvia es de 1 468.58 m³/ha y se requieren 4 riegos complementarios durante el período Noviembre-Enero. La siembra del maíz en el período seco requiere de 8 riegos, con un consumo de 2 937.15 m³/ha distribuidos en intervalos promedio de 17 días.

No se observan diferencias notables entre los consumos totales (lluvia aprovechable+riego) de este cultivo durante los períodos de lluvia y seca.

Estos resultados se acercan a los obtenidos en México por Zamora-Salgado y cols. (2011) quienes obtuvieron cifras de riego totales para el cultivo del maíz en el orden de 3560 m³/ha.

El resultado del cálculo del régimen de riego para el cultivo del Maracuyá durante todo el año se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Maracuyá.

Cultivo	Estación	Dosis Total (m³/ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (m³/ha) (lluvia aprovechable + riego)
Maracuyá	Anual	4 903.04	14	26	7 122.72

Como se puede observar, la dosis total requerida por el cultivo durante

todo el año es de 4 903.04 m³/ha y el consumo total considerando la lluvia aprovechable es de 7 122.72 m³/ha. Se requiere un total de 14 riegos con intervalos promedio de 26 días.

El resultado del cálculo del régimen de riego para el cultivo del Maní sembrado en las estaciones de lluvia y seca se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo del Maní.

Cultivo	Estación	Dosis Total (m³/ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (m³/ha) (Lluvia aprovechable + riego)
Maní	Lluvia	1 459.2	5	Dic-Marzo (24)	3 385.1
	Seca	3 210.3	11	13	3 286.0

Como se puede observar, existen grandes diferencias entre las dosis requeridas y cantidad de riegos a aplicar en época de lluvia y seca. La dosis total requerida por el cultivo en temporada de lluvia es de 1 459.2 m³/ha y se requieren 5 riegos complementarios durante el período Diciembre-Marzo. La siembra del maní en el período seco requiere de 11 riegos, con un consumo de 3 210.3 m³/ha distribuidos en intervalos promedio de 13 días.

No se observan diferencias notables entre los consumos totales (lluvia aprovechable+riego) de este cultivo durante los períodos de lluvia y seca.

Estos valores son inferiores a los expuestos por Doorenbos y Kassam (1988) quienes plantearon que, en dependencia del clima, los requerimientos de agua varían de 5000 a 7000 m³/ha para el período total de dicho cultivo (incluye lluvia aprovechable + riego).

El resultado del cálculo del régimen de riego para el cultivo de la Papaya durante todo el año se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Dosis Total, Cantidad e Intervalos de Riego y Consumo Total estimado para diferentes estaciones y texturas de suelo en el cultivo de la Papaya.

Cultivo	Estación	Dosis Total (m ³ /ha)	Cantidad de Riegos	Intervalo de Riego (días)	Consumo Total (m ³ /ha) (lluvia aprovechable + riego)
Papaya	Anual	8 055	23	16	10 223.59

Como se puede observar, la dosis total requerida por el cultivo durante todo el año es de 8 055 m³/ha y el consumo total considerando la lluvia aprovechable es de 10 223.59 m³/ha. Se requiere un total de 23 riegos con intervalos promedio de 16 días.

Conclusiones

1. El estudio realizado sobre el comportamiento de la Capacidad de Campo del suelo en la zona del Proyecto de Riego San Ramón muestra que los valores de este parámetro están en el intervalo de 34 a 44% pss. Se pudo comprobar una disminución gradual de esta propiedad en función de la profundidad y un comportamiento más estable para los últimos 20 cm de profundidad (de 30 a 50 cm). El valor promedio en todo el perfil analizado (hasta 50 cm de profundidad) fue de 37.06% pss.

2. Los valores Promedio de Densidad Real del suelo para los tres puntos presentaron un valor promedio de 1.85 g/cm³, mientras que los valores de Densidad Aparente del suelo alcanzaron un promedio de 1.05 g/cm³. Ambas propiedades evidenciaron un comportamiento estable en todo el perfil de suelo.

3. Los valores de Porosidad del suelo estuvieron en el intervalo de 39.78% a 44.03% con un promedio en todo el perfil de 42.59%.

4. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 3 y 6 mm/min y la estabilización de este parámetro se

alcanzó a partir de los 40 minutos de haberse iniciado la prueba con un valor promedio de 2 mm/min. Estos resultados evidencian serias limitaciones en la zona de San Ramón para el riego por aspersión debido a la baja tasa de infiltración (≤ 2 mm/min), lo cual ratifica la conveniencia de la aplicación del riego localizado en cualquiera de sus variantes.

5. La dosis total requerida por el cultivo en temporada de lluvia es de 1 468.58 m³/ha y se requieren 4 riegos complementarios durante el período Noviembre-Enero. La siembra del maíz en el período seco requiere de 8 riegos, con un consumo de 2 937.15 m³/ha distribuidos en intervalos promedio de 17 días.

6. Para el cultivo del Maracuyá la dosis total requerida durante todo el año es de 4 903.04 m³/ha y el consumo total considerando la lluvia aprovechable es de 7 122.72 m³/ha. Se requiere un total de 26 riegos con intervalos promedio de 26 días.

7. La dosis total requerida por el cultivo del Maní en temporada de lluvia es de 1 459.2 m³/ha y se requieren 5 riegos complementarios durante el período Diciembre-Marzo. La siembra del maní en el período seco requiere de 11 riegos, con un consumo de 3 210.3 m³/ha distribuidos en intervalos promedio de 13 días.

8. Para el cultivo de la Papaya, la dosis total requerida durante todo el año es de 8 055 m³/ha y el consumo total considerando la lluvia aprovechable es de 10 223.59 m³/ha. Se requiere un total de 23 riegos anuales con intervalos promedio de 23 días.

9. El análisis del Régimen de Riego de Proyecto de los cuatro cultivos en el Cantón Sucre se realizó a partir de la información climatológica y edafológica obtenida en la zona y de un análisis estadístico del comportamiento de la lluvia y la evapotranspiración del cultivo de referencia, lo cual le concede una mayor probabilidad de acierto a los resultados obtenidos.

Bibliografía

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma.
- Cabrera, E. E.; Pérez, L. R. y Moreira, S. J. R. (2017). Régimen de Precipitaciones y Evaporación para riego en el Multipropósito Chone, Ecuador. *Revista RIEMAT. Revista de Investigaciones en Energía, Medioambiente y Tecnología.* (2), 2.
- Calderón, B. S.P. (2014). *Evaluación del recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha.* Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3242/1/T-UCE-0004-100.pdf>
- Chaterlán, D. Y.; Herández, G.; Paredes, P.; Martínez, V. R.; López, S.T. y Pereira, L.S. (2012). Estimación de los coeficientes de cultivo de la papaya para mejorar la programación del riego en el sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, (21), 1, 37-42.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1988). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage paper 33.* Roma.
- INEC. (2014). Instituto nacional de Estadísticas y Censos. Recuperado de <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadsticas-economicas>
- ONN. (2014). Oficina Nacional de Normalización. NC 1042: Calidad del Suelo - Determinación de la Capacidad de Campo. La Habana.
- Oñate, Z. L. A. (2016). Duración de las Etapas Fenológicas y Profundidad Radicular del Cultivo de Maíz (*Zea mays*) var. Blanco Harinoso, bajo las condiciones Climáticas del Cantón Cevallos. (Trabajo de grado). Recuperado de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20%20>

- Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20371.pdf
Pérez, L. R.; Cedeño, C. H.G. y Zambrano, G. J.D. (2017). *Análisis de las Propiedades Hidrofísicas de los suelos para riego en el Proyecto Multipropósito Chone*. Primera Convención Científica Internacional de la UTM. Universidad Técnica de Manabí.
- Pérez, L. R.; Cabrera, E. E.; Hinojosa, G. M.I. y Manzaba, C. J.R. (2018). El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: estudio climatológico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. (27), 1.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. México. Diario Oficial.
- Vinuesa, I. R. J. (2009). *Diseño de un plan de manejo de riego para los cultivos de cítricos en El Zamorano*. Honduras. (Proyecto de grado). Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/403/1/T2860.pdf>
- Walker, W. R. (1989). *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. FAO Irrigation and Drainage Paper 45. Roma.
- Zamora-Salgado, S.; Ruiz, E. F.H.; Beltrán, M. A.; Fenech, L. L.; Murillo, A. B.; Loya, R. J. y Troyo, D. E. (2011). Régimen Hídrico del Maíz en una zona árida, determinado en porcentaje de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 181- 186.

DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE RETENCIÓN HIDRAULICA EN EL TRATAMIENTO SANITARIO MEDIANTE UNA LAGUNA AERÓBICA

Gustavo Mero Baque

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n Vía a San Mateo, 0996914918, Correo: gumer1960@gmail.com

Geovanny Delgado Castro

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n Vía a San Mateo, 0993597444, Correo: c_geovanny11@hotmail.com

Alex Junqui Cedeño

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n Vía a San Mateo, 0984306022, Correo: alexjunqui@gmail.com

Ítalo Mero Santana

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Calle 12 s/n Vía a San Mateo, 0984881199, Correo: italomero@gmail.com

Resumen

El agua potable una vez que se ha sido utilizada por el ser humano en sus diferentes actividades, debe ser descargada a los sistemas de alcantarillado sanitario y transportada a los sitios de tratamientos, para que puedan ser reutilizadas o descargadas a un cuerpo receptor sin que afecte el medio circundante. Para tratar las aguas residuales se debe efectuar la caracterización de las mismas para poder determinar su adecuado tratamiento. La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el periodo de retención hidráulica mediante un tratamiento sanitario con laguna aeróbica. La metodología aplicada se fundamentó por medio de las observaciones in situ, el almacenamiento del agua residual en un recipiente de fibra de vidrio para simular un

tratamiento sanitario mediante lagunas aeróbicas y la toma de muestras de las aguas residuales para determinar los parámetros contaminantes. Los análisis de las muestras fueron realizadas en el laboratorio del Cesecca y los resultados permitieron obtener datos reales de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el pH, los sólidos suspendidos y los sólidos totales, se logró determinar el periodo de retención hidráulica que deben permanecer las aguas residuales en tratamiento y compararlos con las normas ambientales.

Palabras claves: Aguas residuales, tratamiento sanitario, lagunas, contaminación, periodo de retención hidráulica.

DETERMINATION OF THE HYDRAULIC RETENTION PERIOD IN SANITARY TREATMENT THROUGH AN AEROBIC LAGOON.

Abstract.

Drinking water once it has been used by the human being in its different activities, must be discharged to sanitary sewer systems and transported to treatment sites, so that they can be reused or discharged to a receiving body without affecting the surrounding medium. To treat the wastewater, the characterization of the waste must be carried out in order to determine its adequate treatment. The present investigation was carried out with the objective of determining the period of hydraulic retention through a sanitary treatment with an aerobic lagoon. The methodology applied was based on on-site observations, the storage of wastewater in a fiberglass container to simulate a sanitary treatment using aerobic lagoons and the sampling of wastewater to determine the contaminating parameters. The analyzes of the samples were made in the Cesecca laboratory and the results allowed to obtain real data of the biochemical oxygen demand, the chemical oxygen demand, the pH, the suspended solids and the total solids, it was possible to determine

the retention period hydraulics that residual waters must remain in treatment and compare them with environmental regulations.

Keywords: Wastewater, sanitary treatment, lagoons, pollution, hydraulic retention period

Introducción

A nivel mundial el problema de la contaminación de las aguas se agudiza cada día más, debido a que los agentes contaminantes transportados por las aguas residuales, son las principales causa de muertes y transmisión de enfermedades. Debido a esto, la caracterización de las aguas residuales es el primer paso para determinar los parametros contaminantes.

Mediante la caracterizacion es posible conocer el grado de contaminación de las aguas residuales, lo cual nos permitirá determinar el correcto tratamiento que deben tener las mismas, y de esta manera se optimiza la disposición final del efluente a los cuerpos receptores como son los rios, lagos y mares.

El actual estudio se ha realizado con la finalidad de determinar el periodo de retención hidráulica mediante un tratamiento sanitario con laguna aeróbica en las aguas que son descargadas en las inmediaciones de la ULEAM. Se identificaron los componentes físicos, químicos y biológicos que dichas aguas contienen y para determinar la variación de la carga orgánica en un tratamiento aerobico, en función de los días de retención.

Las tomas de las muestras se iniciaron el día 10 de agosto de 2017 denominando la primera muestra "Día Cero", posteriormente se tomaron 4 muestras más correspondientes a los 5, 11, 15 y 21 días. Los parámetros evaluados fueron: la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el potencial de hidrógeno (pH), los sólidos suspendidos y los sólidos totales. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio del Cesecca de la Uleam y los resultados obtenidos se compararon con la normativa Ambiental. Después del análisis respectivo, se logró determinar el tiempo

de retención que se necesitará para que este tipo de agua residual, cumpla con los límites mínimos permisibles, en un sistema de tratamiento mediante laguna de tipo aeróbica.

Las aguas residuales provenientes del consumo doméstico, son residuos líquidos contaminados en su mayor parte por materia orgánica y están compuestas por microorganismos que se desarrollan en la producción de los desechos humanos.

Estas aguas deben pasar por un proceso de tratamiento, ya que no pueden ser descargadas directamente a los cuerpos de aguas naturales por su alto contenido de contaminantes, materia orgánica y organismos patógenos que pueden causar problemas de eutrofización en ríos y mares.

Las aguas residuales en estudio son las que se vierten directamente a cielo abierto a la quebrada que se encuentra en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, son generadas en su mayor parte del uso doméstico, ya que son aguas residuales que se recogen de los barrios aledaños a la Universidad.

Por las razones expuestas, se justifica la presente investigación para caracterizar estas aguas residuales y determinar el tiempo de retención hidráulica mediante la aplicación de un tratamiento sanitario de tipo aeróbico.

Las aguas residuales pueden definirse específicamente como aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, provenientes de las precipitaciones y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado sanitario o vertido directamente al ambiente. (Lazcano Carreño, 2016)

El término residual se emplea ya que el agua luego de ser usada, constituye un residuo que no se puede descargar directamente a un cuerpo receptor y son negras por el color que habitualmente tienen. Algunas veces se hace una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales, considerando la procedencia de las primeras sólo de uso doméstico, mientras a las segundas corresponden a la mezcla de aguas

domésticas e industriales. (Toscano, 2014)

Las sustancias o residuos que contienen las aguas residuales, se componen básicamente de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0,1% por sólidos, sean estos disueltos o suspendidos. Esta pequeña fracción de 0,1% constituida generalmente por residuos orgánicos e inorgánicos, es la que origina los problemas en los tratamientos y en su disposición. (Lazcano Carreño, 2016)

La caracterización de las aguas residuales se las define como: Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del agua residual, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico. (Ambiente, 2013)

Al oxidarse los contaminantes orgánicos e inorgánicos de los efluentes residuales en el cauce receptor, el oxígeno disuelto en el agua disminuye, lo que puede tener un efecto sobre la vida acuática. (Crespi & Huertas, 2014)

Las aguas residuales están compuestas de distintos parámetros contaminantes de características físicas, químicas y biológicas. Entre los principales y que generalmente se analizan tenemos los siguientes: La demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el potencial de hidrógeno, sólidos suspendidos y los sólidos totales.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de materia orgánica. En la prueba estándar de DBO se vierte una pequeña muestra de agua residual en una botella (1000 ml de Volumen). La botella se incuba durante 5 días a 20°C para posteriormente volver a medir la concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada. (Mera Cedeño & Palma Medranda, 2012)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad necesaria de

oxígeno para descomponer químicamente la materia orgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. La DQO, es un parámetro importante y lo suficientemente rápido para determinar el grado de contaminación del agua y puede ser empleada para estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. (García Fernández & Montuy, 2013)

El pH define como el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua residual y depende de la concentración de iones de hidrogeno presente. La definición matemática se expresa como el logaritmo negativo de la concentración de los iones de hidrógeno. (Lazcano Carreño, 2016)

Los sólidos suspendidos están formados por partículas que se mantienen dispersas en el agua en virtud de su naturaleza coloidal. Estos sólidos no sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo. Esto se debe a que las partículas coloidales poseen carga eléctrica semejante, propiedad que las mantiene en suspensión por repulsión electrocinética, merced a un movimiento constante y caótico que se conoce como “movimiento browniano”. (Toasa, 2012)

Los sólidos totales, son todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánico. Es precisamente esta unidad orgánica de los sólidos presenten en las aguas residuales la que es sujeto a degradación y se constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales. (Crités & Tchobanoglous, 2000)

Tratamiento Sanitario

El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. Estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos. (Amaro, 2010)

Tratamiento preliminar

Proceso inicial por medio del cual se elimina el material suspendido grueso de la carga contaminante y se lo realiza para evitar los problemas en el mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de depuración. Los medios más utilizados son: rejillas, tamices, trituradores, tanques de igualación y desarenadores. (Metcalf, 2003)

Tratamientos primarios

Su objetivo principal es la reducción de los sólidos en suspensión contenidos en las aguas residuales. Este proceso se fundamenta en la sedimentación de las partículas o por la flotación para grasas a base de la coagulación.

Tratamientos Secundarios

Tienen como principal finalidad la eliminación de los compuestos orgánicos biodegradables y la eliminación de los sólidos suspendidos no removidos en el proceso preliminar. Mediante este tratamiento se logra eliminar hasta un 85% de la demanda bioquímica de oxígeno y en proporciones muy bajas la remoción de nutrientes y elementos patógenos. (Metcalf, 2003)

Tratamientos Terciarios.

Los tratamientos terciarios o avanzados, se realizan en las aguas residuales que requieren una especial atención en los constituyentes que no se eliminaron en el tratamiento preliminar y secundario. (Metcalf, 2003)

Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son el método más simple y eficaz para el tratamiento de aguas residuales, siendo el más rentable en la captura de energía solar, reciclado de agua y nutrientes, además de ser amigable

con el ambiente. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. (Cubillos, Ghermandi, Fichtman, & Oswald, 2015, 1995)

Los procesos que se llevan a cabo en una laguna de estabilización pueden dividirse básicamente en dos grandes grupos: los que se llevan a cabo por los organismos heterótrofos, que corresponden a todo el metabolismo de la población bacteriana existente en el medio y que son responsables de la degradación de la materia orgánica, y los realizados por los organismos autótrofos, que incluyen las algas encargadas de asimilar nutrientes y proveer el oxígeno necesario para el funcionamiento del sistema. (Manga Certain, Molinares Amaya, & Arriete Pearson, 2007)

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema. (Merlin , 2015)

Las lagunas pueden clasificarse en: Lagunas aeróbicas, de maduración, facultativas y anaeróbicas. En la presente investigación de considero realizar un proceso mediante una laguna aeróbica.

Lagunas aeróbicas

Este tipo de lagunas son poco profundas ya que deben permitir la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua; por tal motivo se tiene gran actividad fotosintética durante las horas de luz solar, en toda columna de agua. Su profundidad varía entre 0,60 a 1,00 m.

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan bacterias aerobias, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las

bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre bacteria y algas, que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. La degradación de la materia orgánica se origina mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas. (Romero, 1999)

Durante las horas de luz solar, el oxígeno y el pH aumentan alcanzando valores máximos, mientras que en las horas de oscuridad éstos parámetros disminuyen en forma considerable, respecto al valor máximo. Los tiempos de retención de estos sistemas son relativamente cortos (generalmente 5 a 20 días).

Este trabajo se realiza con el objetivo de determinar el periodo de retención hidráulica mediante un tratamiento sanitario con laguna aeróbica.

Para ello se pretende investigar conceptos sobre los parámetros contaminantes existentes en las aguas residuales, tomar muestras del agua residual para determinar su composición y su variación mediante un tratamiento aeróbico, analizar los resultados obtenidos a partir de las muestras enviadas al laboratorio, así como comparar los resultados de los parámetros contaminantes con respecto a las normas TULSMA para determinar el periodo de retención hidráulica que deben estar las aguas residuales en tratamiento.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en una alcantarilla de aguas lluvias ubicada en una quebrada que circunda las inmediaciones de la Universidad Eloy Alfaro de Manabí y en la cual, actualmente fluyen aguas residuales que son descargadas sin recibir algún tipo de tratamiento.

Se aplicaron diferentes tipos de métodos de investigación, entre las cuales se pueden mencionar: Método analítico, el cual permitirá analizar teorías empíricas actuales sobre el funcionamiento de plantas

de tratamientos.

Método experimental, debido a que utilizó un recipiente de fibra de vidrio, el cual simuló un tratamiento aeróbico. Se tomaron muestras en varios días con la finalidad de caracterizar las aguas del efluente en la quebrada de la universidad, llevando las muestras al laboratorio de CESECCA, para obtener resultados y analizarlos con respecto a la normativa existente.

Se establecieron dos puntos de monitoreo:

El primero en la salida aguas abajo de la alcantarilla cajón de 1,20 x 1,20.



Figura 1: Descarga de aguas residuales en la Alcantarilla de Cajón.

El segundo punto de monitoreo en un recipiente de fibra de vidrio de 0,60 metros de diámetro y 1,20 metros de altura y que simulará el tratamiento sanitario mediante una laguna aeróbica.



Figura 2: Recipiente que simula una laguna aeróbica.

Materiales a utilizar:

Para el análisis de la información: se utilizó herramientas como computadores, internet entre otros.

Para almacenar el agua: un recipiente de 1,20 de altura con un diámetro de 60cm.

Para la recolección del agua: guantes, botellas de plástico de 1L, fundas, mascarillas, entre otros equipos de protección.

Para la caracterización de las muestras: se utilizaron compuestos químicos y equipos de laboratorio que se encuentran en CESECCA.

Se tomó una muestra del agua que sale de la alcantarilla para poder caracterizar las aguas residuales y en el recipiente plástico se tomaron muestras del agua residual a los 5, 11, 15 y 21 días.



Figura 3: Toma de muestra al inicio de la investigación (Día Cero).

La toma consistió en llenar una botella de plástico de 1 litro y finalmente transportarla al Laboratorio del CESECCA, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), para que se realicen los análisis respectivos.

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros determinados, la Norma Oficial Ecuatoriana indica que se debe aplicar los métodos establecidos en el Manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (2017).

Se procedió a la caracterización física-química de las muestras tomadas, para lo cual se efectuaron los ensayos respectivos, los mismos que se fundamentan en la tabla 1.

Tabla 1: Ensayos y métodos de referencia. Fuente: Standard Methods for the Examinación of wáter and Wastewater, 23rd Edition 2017.

CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Ensayo	Unidad	Método de Referencia
DBO	mg/Litro	Standard Methods for the Examination of wáter in Wastewater
DQO	mg/Litro	Standard Methods for the Examination of wáter in Wastewater
pH	-	Standard Methods for the Examination of wáter in Wastewater.
Sólidos Suspen- didos	mg/Litro	Standard Methods for the Examination of wáter in Wastewater
Sólidos Totales	mg/Litro	Standard Methods for the Examination wáter in Wastewater

Los resultados de las muestras se compararon con los valores permitidos por las normas ambientales, de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 2: Valores referenciales mínimos. Fuente: Normas Tulsma (2014).

ENSAYO	UNIDAD	VALORES MÍNIMOS PERMITIDOS PARA EFLUENTES DESCARGADOS EN CUERPO DE AGUA MARINO
DBO	mg/Litro	100,00
DQO	mg/Litro	200,00
pH	-	5,00 a 9,00
Solidos Suspendidos	mg/Litro	130,00
Solidos Totales	mg/Litro

Resultados

Al comparar los resultados de las muestras analizadas con valores permisibles de las normas ambientales, se establecen las siguientes interpretaciones:

Demanda Bioquímica de Oxígeno:

La demanda bioquímica de oxígeno debe tener un valor mínimo permisible de 100 mg/litro. De acuerdo al gráfico que refleja los resultados de los valores obtenidos, a partir del día 17 se cumple con el valor permitido, por lo cual el tiempo de retención hidráulica se lo puede establecer en 18 días (figura 5).



Figura 5. Resultados línea de tendencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Demanda Química de Oxígeno:

La demanda química de oxígeno de acuerdo a las normas debe tener un valor mínimo permisible de 200 mg/litro. De acuerdo al gráfico que refleja los resultados de los valores obtenidos en las pruebas realizadas, a partir del día 10 se cumple con el valor permitido (figura 6).



Figura 6. Resultados línea de tendencia de la Demanda Química de Oxígeno

Potencial de Hidrógeno:

El potencial de hidrógeno según las normas debe tener un valor permisible de 6,00 a 9,00. De acuerdo al gráfico que refleja los resultados de los valores obtenidos en las pruebas realizadas, a partir del día 0 el valor es menor al permitido y se mantiene durante los 21 días con valor promedio de 8,07 (figura 7).

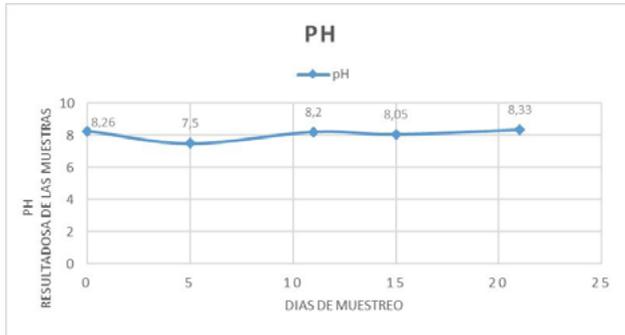


Figura 7. Resultados línea de tendencia de los valores de pH.

Sólidos Suspendidos:

Los sólidos suspendidos según las normas deben tener un valor mínimo permisible de 130 mg/litro. De acuerdo al gráfico que refleja los resultados de los valores obtenidos en las pruebas realizadas, a partir del día 0, se cumple con el valor permitido y se mantienen hasta los 21 días (figura 8).



Figura 8. Resultados línea de tendencia de los sólidos en suspensión.

Sólidos Totales:

Los sólidos totales tienen diferentes valores y generalmente tienden a incrementarse en los tratamientos mediante lagunaje. De acuerdo a las normas no existe un valor de referencia para los sólidos totales cuando el cuerpo receptor es un medio marino y por lo tanto los sólidos totales no tienen incidencia alguna (figura 9).



Figura 9: Resultados línea de tendencia de los Sólidos totales.

Conclusiones

1. El tratamiento de las aguas residuales mediante el sistema de lagunaje, permite depurar las mismas hasta alcanzar niveles acordes a las normas ambientales, lográndose de esta manera que el efluente que

se descargue en un cuerpo receptor, tenga una correcta integración en el entorno.

2. Las lagunas aeróbicas, constituyen un método extremadamente eficiente y altamente rentable para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, debido a su capacidad para asimilar cargas orgánicas fluctuantes y a su eficacia en la eliminación de elementos patógenos.

3. Mediante los ensayos realizados a las diferentes muestras en el laboratorio del CESECCA (Uleam), se logró determinar las cargas orgánicas de los parámetros contaminantes que poseen las aguas residuales.

4. Los Informes de los resultados obtenidos en el laboratorio, permitieron analizar el comportamiento del afluente durante varios días y se pudo determinar de una manera segura, el periodo de retención hidráulica que deben permanecer las aguas residuales en tratamiento.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras analizadas se pudo establecer que el periodo de retención hidráulica que deben permanecer las aguas residuales en un tratamiento aeróbico para que se cumplan con todos los parámetros, es de 18 días.

Bibliografía

- Amaro, R. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Brasil. Ambiente, Ministerio de. (2013). *Ministerio de Ambiente*. Recuperado de <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>
- Crespi, M., & Huertas, J. (2014). *Determinación simplificada de la demanda química*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6243/Article07.pdf>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de aguas residuales*. Santa Fe de Bogota, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Cubillos, Ghermandi, Fichtman, y Oswald. (2015, 1995). Estado del arte

- en lagunas de estabilizacion. *volumen 30 revista científica* , 80-90.
- García Fernández, J. A., y Montuy, R. (2013). *Demanda Química de Oxígeno en muestras acuosas*. Recuperado de http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf
- Lazcano Carreño, C. A. (2016). *Biotecnología Ambiental de Aguas y Aguas Residuales*. Bogota: Ecoe Ediciones tda.
- Manga Certain, J., Molineros Amaya, N., y Arriete Pearson, J. (2007). *Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de lagunaje*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Mera Cedeño, Y. A., y Palma Medranda, J. A. (2012). *Investigación del Impacto Ambiental que producen las aguas residuales de las lagunas de oxidación y que son descargadas en el cauce del río Manta*. Manta.
- Merlin , L. (2015). *Lagunas*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jjgmrls/edar>
- Metcalfe, E. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. New York: McGraw Hill International Edition.
- Romero, R. (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. *Alfa omega. México*, 23.
- Toasa, F. (2012). *Validación de los métodos de ensayo para fenoles, Tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS)*. (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ingeniería Química. Quito.
- Toscano, J. (2014). *Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento El Coca de la empresa Tribollgan*. (Tesis de grado). Francisco de Orellana, El Coca.
- TULSMA. (2014). Reformase el texto unificado de legislación secundaria del libro VI, Título I del sistema único de manejo ambiental. Acuerdo N°68. Ministerio de Ambiente, Tabla 10.

VARIACIÓN DEL PERÍODO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS DE MADURACIÓN

Horacio Cedeño Muñoz

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. 131201, Calle Bolívar y Pichincha, Rocafuerte, Manabí, Ecuador. 0958829218.

Correo: horacioantonio_3@hotmail.com.

Miriam Solórzano Fernández

Estudiante Egresado de la Carrera de Ingeniería Civil. ULEAM. Las Delicias, Calcuta; Bolívar, Manabí, Ecuador. 0992351185. Correo: miry_aleja94@hotmail.com.

Katherine Ostaíza Panchana

Estudiante Egresado de la Carrera de Ingeniería Civil. ULEAM
Calle 10 de agosto y Rafael María Mendoza, Portoviejo, Manabí, Ecuador 0996472201.

Correo: kathyop_1994@hotmail.com.

Resumen

El presente trabajo determina el problema que se tiene en los tratamientos de las aguas residuales y en las lagunas de maduración ya que, finalmente se tiene un tiempo establecido para su tratamiento pero no se está cumpliendo con ello, por lo tanto es de gran importancia la determinación del período de tiempo en el que los parámetros bioquímicos y físicos sean los óptimos para que el efluente pueda ser vertido directamente en los cuerpos receptores. En consecuencia, este estudio permitió evaluar muestras tomadas en la laguna de maduración, los resultados se obtuvieron mediante las pruebas de laboratorio y de

campo, estableciendo parámetros de tiempo requerido de acuerdo a los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas. Dichos resultados con enfoque investigativo, experimental y con base científica exponen datos importantes para la solución de la problemática establecida, y así poder llegar a cumplir con el objetivo planteado y conocer el tiempo de retención hidráulica óptimo para el diseño de este tipo de lagunas, el cual nos dio como resultado un tiempo de retención hidráulica de 22 días, mismo que aportará a realizar un buen diseño de las futuras plantas de tratamiento y abriendo las puertas a nuevas investigaciones.

Palabras Claves. - Aguas residuales, maduración, tratamiento, oxígeno, retención hidráulica.

VARIATION OF THE PERIOD OF HYDRAULIC RETENTION IN THE TREATMENT OF WASTEWATER THROUGH LAGUNAS OF MATURATION.

Abstract

The present work determined that the problem has wastewater treatments and maturation lagoons that, finally, have a set time for treatment, but it is not being completed with this, therefore, it is of great importance. The length of time in which the biochemical and physical parameters are optimal so that the element can be poured directly into the receiving bodies. Consequently, the study and the response were taken in the maturation pond, the results were obtained by laboratory and field tests, establishing time parameters required according to the tests performed. These results with investigative, experimental and scientifically based approach expose important data for the solution of the established problem, and thus be able to achieve the stated objective and know the optimal hydraulic retention time for the design of this type of lagoons, the which resulted in a hydraulic retention time of 22 days, which will provide a good design of future treatment plants and open

the doors to new research.

Keywords. - Wastewater, maturation, treatment, oxygen, hydraulic retention.

Introducción

Durante las últimas décadas de este siglo, en el mundo se puede observar con inquietud, la manera de analizar y tratar de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedente del uso doméstico, agrícola e industrial.

Según Yee-Batista (2013), el 80% de la población Latinoamericana vive en ciudades y una gran proporción en asentamientos próximos a fuentes contaminadas. Agrega también que, siendo América Latina una de las regiones más biodiversas del mundo y dueña de un tercio de las fuentes de agua del mundo, la contaminación del agua representa consecuencias ecológicas adversas. Yee-Batista (2013), también afirma que el 70% de las aguas residuales de la región latinoamericana no son tratadas, el agua es extraída usada y devuelta completamente contaminada, es vertida a los ríos.

En Ecuador la mayor parte de ríos en especial en las regiones Costa y Sierra, presentan un alto grado de contaminación debido a que las descargas de las aguas residuales municipales e industriales son vertidas directamente a los ríos más cercanos, provocando contaminación directa y causando que el río se vuelva inerte.

Por lo tanto, con el fin de evitar dichos efectos negativos es importante que antes de descargar las aguas residuales al cuerpo receptor, estas deben de ser tratadas para minimizar las probables fuentes de contaminación. En la ciudad de Manta, lugar en donde se centra la investigación, existen 16 lagunas de oxidación aquellas se dividen en: 4 lagunas anaeróbicas, 8 lagunas facultativas y 4 lagunas de maduración o conocidas como pulimento, siendo las encargadas de realizar el tratamiento de las aguas

residuales de la ciudad.

En esta investigación se tiene como objetivo principal determinar la variación del período de retención hidráulica en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de maduración por medio de las pruebas realizados para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), PH, Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos, en las lagunas de maduración de la ciudad de Manta, considerando que la determinación de estos parámetros, permitirá establecer el período de retención hidráulica en los tratamientos de aguas residuales mediante las lagunas de maduración de 1,50 metros de profundidad en la Ciudad de Manta como hipótesis de la investigación. La investigación permite evaluar la eficacia del sistema de tratamiento en lagunas de maduración mediante la realización de pruebas de campo llevadas al laboratorio, y obtener parámetros reales para luego ser analizados.

Aguas Residuales

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial, se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. El término residual se emplea ya que el agua luego de ser usada constituye un residuo que no se puede usar directamente, son negras por el color que habitualmente tienen. Algunas veces se hace una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales considerando la procedencia de las primeras sólo de uso doméstico mientras a las segundas correspondientes a la mezcla de aguas domésticas e industriales. (Toscano, 2014)

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como domésticas e industriales.

Antecedentes

El cantón Manta se encuentra ubicado en la parte suroeste de la provincia de Manabí, a orillas del océano Pacífico. Fue fundado el 4 de Noviembre de 1922, actualmente con 42000 habitantes aproximadamente^[1], es la segunda ciudad más poblada de esta provincia y se ubica a 34 kilómetros de Portoviejo, la capital provincial (Dspace, 2015). Manta posee un sistema de alcantarillado sanitario que conduce las aguas servidas hasta la planta de tratamiento ubicada en el sector San Juan. El proceso consiste en que el afluente ingresa por el cárcamo de entrada de la laguna de oxidación, pasa a las lagunas anaeróbicas y luego sigue hacia la laguna aeróbica por medio de un vertedero desde donde pasa el líquido por desniveles hacia las lagunas restantes, facultativas y de maduración, al llegar el líquido hasta esta última el agua se encuentra tratada y lista para los muestreos y análisis pudiendo así ser descargada hacia los cuerpos receptores. (Empresa de Agua Potable.[EPAM], 2015)

Lagunas de Maduración

Las lagunas de maduración son consideradas como un tratamiento avanzado, es decir la última etapa de un sistema de tratamiento (Cubillos, 2001), que recibe el efluente de tratamientos anteriores como de lagunas facultativas. Las características típicas de estas lagunas, se muestran en la Tabla 1. Los principales mecanismos de eliminación son la inactivación de patógenos por luz ultravioleta (UV) y la sedimentación de los sólidos suspendidos en el estanque, pero además pueden eliminar DBO5. (Polprasert & Kittipongvises, 2011)

Tiempo de Retención Hidráulica

Este criterio se fundamenta en que el agua residual permanezca el

[1] Información proporcionada por Dirección Municipal de Planificación y Ordenamiento Territorial.

tiempo necesario para que los microorganismos realicen la estabilización de la materia orgánica presente en la laguna, Por lo tanto se relaciona con la actividad de las bacterias. Entonces el tiempo requerido varía con las condiciones locales, especialmente con la temperatura, por lo general se adoptan tiempos de detención variados entre 15 y 45 días. Los tiempos menores se adoptan para lugares donde la temperatura del agua es más elevada, ya que así se logra reducir el área que necesitaría la laguna. En lugares con aguas residuales concentradas, el tiempo tiende a ser más elevado, el TRH es complementario con la tasa superficial máxima, o sea que el área y el volumen obtenidos deben ser coherentes.

Materiales y Métodos

Descripción del Sitio Analizado

El sitio definido para el programa de monitoreo corresponde a las lagunas de oxidación del sistema de alcantarillado del Municipio de Manta, ubicado en el sitio conocido como San Juan. Estas lagunas de oxidación se encuentran ubicadas a casi 1 Km de distancia al Sur del sitio más poblado de la ciudad de Manta (Cooperativa 24 de Mayo) y la línea de la playa de la ciudad de Manta se encuentra al norte en línea recta aproximadamente a 2.5 Km. Físicamente, el sistema de lagunas actual tiene aproximadamente un terreno rectangular de 54 hectáreas definidas por las siguientes coordenadas geográficas.

Laboratorio

El procesamiento y análisis de las muestras fue realizado en el Laboratorio de del Centro de servicios para el control de la calidad "CESECCA" ubicado en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, cuyo procedimiento fue basado en el Standard Methods, for the Examination of Water and Waste Water, 2012.

Período de investigación

El presente trabajo se realizó entre los meses de septiembre de 2017 y enero 2018.

Simulación de una Laguna de Maduración

La laguna de maduración que se diseñó, construyó y monitoreó para conocer LA VARIACIÓN DEL PERÍODO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS DE MADURACIÓN CON PROFUNDIDAD DE 1,50 METROS EN LA CIUDAD DE MANTA”.

El recipiente utilizado como laguna es un tanque de polietileno de boca ancha de 11 galones de capacidad, con una abertura de 60x170 cm en el eje longitudinal. No existen separaciones dentro del tanque y tiene 3mm de espesor. Los estudios ejecutados se basan en la recolección periódica de 1.50 lts de agua almacenada en la laguna de maduración para “La determinación de la variación de la DQO, DBO, PH, SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES y SOLIDOS TOTALES, que permitirá establecer el período de retención hidráulica en los tratamientos de aguas residuales mediante las lagunas de maduración de 1,50 metros de profundidad en la ciudad de Manta”. Luego, siguiendo la línea de custodia en la toma de muestra, estas son llevadas al laboratorio para su análisis.

Métodos

Tiene un carácter Descriptivo-Explicativo, por lo que, se toman teorías de diferentes autores con respecto al tema de investigación, con el fin de realizar nuevas definiciones de manera analítica.

Tipo de Muestra y Frecuencia de Muestreo

El tipo de muestra seleccionada fue muestra única, que tiene como objetivo el producir una muestra representativa de la calidad del agua

en el punto de muestreo. Un detalle de la frecuencia de muestreo se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Frecuencia de muestra Elaboración: Ostaíza, K, y Solórzano, M. (2017)

FRECUENCIA DE MUESTREO		
HORARIO DE MUESTREO	AÑO	
Mañana (12h00 - 13:30h00)	2017	
	FECHA Y DIAS DE MUESTREO	
	06-Septiembre-2017	1 día
	11-Septiembre-2017	5 días
	21- Septiembre-2017	15 días
	28-Septiembre-2017	22 días

Condiciones de Muestreo

Para las descargas de aguas residuales se recolectaron muestras únicas utilizando envases de plástico con capacidad de 1,5 litros, previamente lavados y esterilizados, luego se procedió a recoger la muestra siguiendo una cadena de custodia que garantizó que los parámetros de las muestras no sean alterados Hubo dificultad para la recolección directa en el envase, por lo que se utilizó un recipiente adecuado para recolectar la muestra y luego depositarla en el envase.

Manejo de las Muestras

Para el manejo de las muestras se consideró el tipo de muestra, el intervalo de tiempo entre la toma de muestra, el análisis, las condiciones de almacenamiento y transporte. Para ello, en la Tabla 2, se presentan algunos aspectos relacionados con la toma, transporte y almacenamiento de muestras.

Tabla 2: Modelo de preservación de muestras. Fuente: Standard Methods, for

the Examination of Water and Waste Water, 2012 Elaborador por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam, 2017

Parámetro	Envase	Tamaño mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/ regulado
pH	P	1500	p	No requerido	Análisis inmediato
DBO ₅	P	1500	p	Refrigerar	4 horas
DQO	P	1500	p	Refrigerar	7horas
Sólidos suspen- didos	P	1500	p	Refrigerar	7 días
Sólidos Totales	P	1500	p	Refrigerar	7 días

P = envase de plástico (polietileno o equivalente)

V = envase de vidrio

p = puntual

Resultados

Se presentarán los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de aguas residuales obtenidas del muestreo. Los cuales son normados según el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno indica la cantidad que necesitan las bacterias para oxidar la materia orgánica e inorgánica. Usada para medir el oxígeno equivalente la materia orgánica oxidable en las aguas residuales, su límite máximo permisible según las TULSMA, debe estar en 200,0 mg/l como se muestra en la tabla 3, entonces según los resultados obtenidos la DQO cumple a los 22 días, siendo esta la última muestra tomada en nuestra investigación.

Tabla 3: Resultados de la demanda química de oxígeno (DQO)
Resultados de investigación Tomados por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam. 2017

DQO (mg/l)	DIAS	RESULTADOS CE.SE.C.CA.	LIMITES MAXIMOS PER- MISIBLES
	0	667,63 mg/l	200 mg/l
	5	229,23 mg/l	
	15	223,24 mg/l	
	22	173,18 mg/l	

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno necesariamente consumida en la degradación bioquímica para estabilizar la materia orgánica biodegradable existente en la muestra del agua residual, mediante procesos biológicos, siendo este un parámetro orientador en el diseño de una planta de tratamiento mediante procesos biológicos, el límite permisible es 100 mg/l. Como se observa en la tabla 4, en nuestra muestra de agua residual cumple con este parámetro en el día 22 de la investigación.

Tabla 4: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
Resultados de investigación Tomados por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam. 2017

DBO (mg/l)	DIAS	RESULTADOS CE.SE.C.CA.	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES
	0	482 mg/l	100 mg/l
	5	141 mg/l	
	15	138 mg/l	
	22	69 mg/l	

Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos son los que contienen partículas dispersas en el agua residual, en virtud de que aquellas aguas son en gran parte orgánica. Estos sólidos por lo general se encuentran suspendidos en el agua por la repulsión eléctrica, debido a que no se sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo. El límite permisible es de 130 SS. Como se muestra en la tabla 5. Se cumple con los valores máximos permisibles en la investigación.

Tabla 5: Resultados de los Sólidos Suspendidos
Resultados de investigación Tomados por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam. 2017

SÓLIDOS SUSPENDIDOS	DIAS	RESULTADOS CE.SE.C.CA.	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
	0	244	130 SS
	5	83	
	15	63	
	22	112	

Sólidos Totales

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en el agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.

Las aguas residuales contienen una gran cantidad de sólidos totales por ser aguas en su gran mayoría de origen orgánico. Según las TULSMA, el límite permisible es de 1600 mg/l, como se observa en la tabla 6, el resultado obtenido en el laboratorio no cumple con los parámetros establecidos.

Tabla 6: Resultados de los sólidos totales
Resultados de investigación Tomados por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam. 2017

Sólidos Totales (mg/l)	DÍAS	RESULTADOS CE.SE.C.CA.	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
	0	2120	1600 mg/l ST
	5	2090	
	15	2060	
	22	2030	

pH (Potencial de Hidrógeno)

El pH permisible de los límites de descarga de un cuerpo de agua dulce se encuentra entre 6,0 y 9,0, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, siendo el límite máximo aceptado de 9,0 los datos obtenidos de pH se indican en la tabla 7, donde se puede observar que no existe alteración alguna de los resultados con los límites máximos permisibles debido que se encuentran dentro del rango.

Tabla 7: Resultados de potencial Hidrogeno
Resultados de investigación. Tomados por: Ostaíza Katherine y Solórzano Miriam. 2017

pH	DIAS	RESULTADOS CE.SE.C.CA.	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES
	0	7,35	6,00-9,00
	5	7,60	
	15	7,46	
	22	7,68	

Conclusiones

1. Según los resultados obtenidos en las muestras tomadas en el proceso de la investigación se establece un tiempo de retención de 22 días ya que es ahí donde el agua cumple con los parámetros que exige la norma.

2. El tiempo de retención que se está trabajando en las lagunas de maduración no es el adecuado ya que ahí no cumple con lo establecido en las normas.

3. Estos parámetros obtenidos son oportunos para poder diseñar lagunas de maduración ya que en base a ellos podremos obtener el caudal que debe tratarse durante los días necesarios para que alcancen los niveles o valores óptimos de vertido a los cuerpos receptores.

Bibliografía

DAES, D. D. (2014). *Naciones Unidas, Prevé un crecimiento mundial de 3.1% y advierte de riesgo*. New York.

Aquastat. (2016). *Water withdrawal by sector, circa 2010*. FAO. Roma.

Bautista Yee, J. L. (2013). Prevalencia de los eventos adversos relacionados con la medición de la comunidad de Valencia. En J. L. Bautista Yee, Prevalencia de los eventos adversos relacionados con la medición de la comunidad de Valencia. Valencia, España.

Benavides. Vanegas C. Reyes R. (como se citó Mara, 2. (2004) 2017). *Carga superficial máxima en lagunas de estabilización de Nicaragua. Domestic wastewater treatment in developing countries*. London, UK; Earthscon.

Celis, Junod, y Sandoval. (2005). *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales en plantas acuáticas*. Teoría volumen 14, 2.

Cisneros, y Sandoval. (2012). *Tratamiento de aguas servidas en lagunas de oxidación para una población de 1000 habitantes*. Guayaquil.

Dspace. (2015). *Dspace.espol*. En ESPOL.

Empresa de Agua Potable.[EPAM]. (2015). *Empresa Pública de Agua del cantón Manta*. En *Trabajos en el río Muerto*. Manta.

Galarraga, y Sánchez. (2011). *Informe Nacional sobre la Gestión de Agua*

- en Ecuador. Quito.
- Mara, D. (1976). Sewage treatment in hot climates. Willey.
- Metcalf-Eddy. (2003). Wastewater, engineering: Treatment and reuse. New York: McGraw Hill International Edition. Wastewater, engineering.
- Pérez, R. (2013). Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedades artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Revista científica de América y El Caribe, España y Portugal*, 10.
- Polprasert, C., y Kittipongvises, S. (2011). Constructed wetlands and waste stabilization ponds. Elsevier, 277-278.
- Romero, R. (como dice Palmer (1962), 2017). Implementación de un post tratamiento por lagunas de maduración de bajo calado para el efluente de un digestor anaerobio doméstico rural.
- Sanchez, y Matsumoto. (2013). Estudio de batimetría y eficiencia de un sistema de lagunas de estabilización. *Revista de ciencias agrícolas*.
- Sperling, V. (2005). Biological wastewater treatment in warm climate regions. Brazil.
- Toscano, J. (2014). Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento El Coca de la empresa Tribollgan. (Tesis de grado). Francisco de Orellana, El Coca.
- TULSMA. (2013). Reformase el texto unificado de legislación secundaria del libro VI, Título I del sistema único de manejo ambiental. Acuerdo N°68. Ministerio de Ambiente, Tabla 10.
- UNESCO. (2017). Aguas Residuales, el recurso desaprovechado. París.
- UNICEF/OMS. (2000). Evaluación mundial del abastecimiento de agua y saneamiento. New York/Ginebra. Recuperado de www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf
- UNICEF/OMS. (2015). Progresos en materia de saneamiento y agua potable. New York/Ginebra.
- Yee-Batista. (2013). En Y. Batista.

EL AGUA RESIDUAL COMO RECURSO DE NUTRIENTES

Horacio Cedeño Muñoz

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

131201, Calle Bolívar y Pichincha, Rocafuerte, Manabí, Ecuador.
0958829218.

Correo: horacioantonio_3@hotmail.com.

Alexi Óscar Morán Guzmán

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Vía San Mateo S/N, Manta, Manabí, Ecuador
0994578482.

Correo: alexi.moran@uleam.edu.ec

Gladys Moreira Borja

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil.ULEAM.

Calle 17 y Av.37, Ciudadela las Acacias, Manta, Manabí, Ecuador.
0967779758.

Correo: gladys.moreira.m05@gmail.com

Resumen

El presente trabajo determinó los nutrientes que contiene el agua residual de las lagunas de tratamiento del cantón Rocafuerte para el aprovechamiento en el uso agrícola, a partir de análisis del agua realizado a la laguna de pulimiento. Se determinan además los métodos idóneos para lograr un aprovechamiento eficaz de los nutrientes en este tipo de Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). Se realizó una muestra compuesta para analizar la calidad del agua de la laguna de pulimiento, el cual determinó que el agua no cumple con todos los parámetros de descarga, pero que aplicando un método para aprovechar

sus nutrientes esta daría un aporte importantísimo para los agricultores que se siembran en el sector.

Palabras clave: Agua residual, Nutrientes, Agrícola, Recuperación, Calidad.

RESIDUAL WATER AS A RESOURCE OF NUTRIENTS

Abstract

The present work determined the nutrients that the residual water of the lagoons of treatment of the Rocafuerte canton contains for the use in the agricultural use, from analysis of the water made to the polishing lagoon. It also determines the ideal methods to achieve an efficient use of nutrients in this type of Wastewater Treatment Plant (WWTP). A composite sample was made to analyze the water quality of the polishing pond, which determined that the water does not comply with all the parameters of the discharge, but that a method for the benefits was applied.

Keywords: Wastewater, Nutrients, Agricultural, Recovery, Quality.

Introducción

Las aguas residuales tratadas constituyen un recurso hídrico basto en zonas con alta densidad poblacional y en las que se presentan problemas de déficit de este recurso. En la gran mayoría de países del mundo, se valora la calidad de las aguas residuales para el aprovechamiento de sus nutrientes, empleando los mismos criterios que se utilizan para las aguas superficiales o subterráneas en los parámetros de: contenido de sales, presencia de elementos potencialmente fitotóxicos (sodio, cloro y boro), presencia de microorganismos patógenos y la concentración de metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos.

El uso de aguas residuales para la producción agrícola puede

incrementar el contenido de materia orgánica y de nutrientes en los suelos cultivados, lo cual contribuye a mantener o mejorar la fertilidad del suelo, pero también puede causar efectos nocivos que deterioran su calidad. La dinámica de la materia orgánica en el suelo desempeña un papel importante, en virtud de que la descomposición de la misma, controla la disponibilidad de nutrientes e influye en la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a la materia orgánica. Raber y Kogel-Knabner (1995). Por lo tanto, la incorporación del lodo de las aguas residuales durante varios años puede modificar la acumulación y la estabilidad de la materia orgánica, Soler *et al.* (2002) y mejorar las características químicas y fertilidad del suelo.

Planteamiento del Problema

Se hace importante enfocar que las lagunas de tratamiento de aguas residuales cuentan con varios problemas y uno de los más importantes es la afectación a la salud de las personas y a los sembríos que rodean el sector, repercutiendo en enfermedades como el dengue, hepatitis, entre otras, también el deterioro del terreno ya que mediante la infiltración afecta a las aguas subterráneas además el agua que descarga no cumple con todos estándares de calidad, esto genera contaminación y pérdidas económicas. El efluente de las lagunas de estabilización se utiliza en el riego de cultivos que están siendo afectados ya que el agua posee gran cantidad de contaminantes como el cobre y los coliformes fecales, entre otros. El agua de las lagunas entra en contacto con personas y viviendas que se encuentran en el sector, ya que no hay un límite de seguridad en sus márgenes que evite la construcción de viviendas.

Justificación

Las aguas residuales pueden constituir una alternativa como fuente de este recurso para los cultivos mejorando la fertilidad del suelo debido al

alto contenido de materia orgánica que pueden causar serios problemas a la salud humana.

La presente investigación tuvo como finalidad analizar las Aguas Residuales generadas en la ciudad de Rocafuerte, y brindar alternativas de métodos que aprovechen los nutrientes que esta contienen, para su utilización principalmente en el ámbito agrícola.

A través de este proyecto se pretende aportar datos importantes para beneficiar a los agricultores del sector donde se encuentran ubicadas las lagunas dando a conocer diferentes alternativas para la reutilización de las aguas residuales mediante diferentes métodos de aprovechamiento de nutrientes.

Objetivos

- Determinar el comportamiento físico, químico y biológico presente del agua de la laguna de pulimiento como ultima unidad de tratamiento previo a la descarga.
- Analizar alternativas de diferentes métodos de recuperación de nutrientes presentes agua residual.

Desarrollo

Alternativas de la recuperación de los nutrientes presentes en agua residual. En las aguas residuales existen nutrientes como el nitrógeno y fósforo en forma disuelta, el nitrógeno principalmente como amonio, ya que en las aguas existe un pequeño porcentaje en los compuestos de nitrógeno orgánico (por ejemplo, pro-proteínas y urea), mientras que el fósforo existe principalmente baño forma de fosfato inorgánico.

La Principal fuente de fósforo y Nitrógeno son los excrementos Humanos. Las cargas per cápita se aproximan 11-13g de nitrógeno y 1,8-2 g fósforo. (P Cornel, A Meda, and S Bieker, 2011)

Los compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas residuales son

requeridos para el crecimiento de microorganismos en las plantas de tratamiento. En el tratamiento aeróbico de aguas residuales y dependiendo de la configuración de la planta y el tiempo de retención de lodos, contienen de 20% a 30% del nitrógeno y de un 30% a 40% de fósforo en los lodos que se puede utilizar como nutriente, en los EDAR con eliminación mejorada biológica de fósforo, hasta el 95% del fósforo están unidos en el lodo.

En diferente casos dependiendo de las cargas de nitrógeno y fósforo que contiene el agua se lo puede utilizar como fertilizante para riego agrícola, eso sí considerando que el agua este bien tratada, caso contrario la concentración de nutrientes en el agua podría ser demasiado alta y necesitan ser controlada con el fin de evitar la sobre-fertilización de los suelos, especialmente cuando el agua de reutilización es el único recurso de agua para el riego.

La concentración de nutrientes en los países europeos habitualmente se aproxima 55 mg de nitrógenos y 7 mg fósforo como se mencionó anteriormente según el desempeño de la planta de tratamiento, la cantidad de agua residual utilizada para el riego debe ser limitada. Tomando por ejemplo un cultivo de trigo, la cantidad total de agua requerida por las plantas es entre 6000 y 10000 m³/h, en el caso del riego con agua residual tratada, la cantidad de agua de riego tiene que ser limitado a 1.000 un 3.800 m³ por hectárea. (Cornel y Meda, 2008a)

Básicamente, la utilización de los nutrientes con el agua de riego se limita un período de riego. El almacenamiento de agua rica en nutrientes es problemática, debido al riesgo de crecimiento de algas pesada en almacenamiento abierto o debido a la obstrucción cuando se almacena en los acuíferos. La desinfección de las aguas residuales causa muchos problemas, esto puede dar lugar a que se requiera diferentes tipos de tratamiento a los largo del año para garantizar el tipo de agua que necesitamos si es rica en nutrientes o pobre en nutrientes para así

preservar la buena calidad del suelo.

Nitrógeno

En su discurso de apertura en la conferencia de la recuperación de nutrientes en mayo de 2009 en Vancouver, el Dr. James Barnard declaró " el nitrógeno se puede recuperar de las aguas residuales, pero el costo de la recuperación es muy superiores al de la fijación de nitrógeno de la atmósfera". (Barnard, 2009)

El nitrógeno es el elemento, en forma no elemental, más abundante. Se encuentra principalmente en la atmósfera, donde constituye el 78,1% en volumen. Su abundancia en la corteza terrestre es solo del 0,002% en masa.

En las aguas residuales el nitrógeno se suele presentar en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrito y nitrato, la figura 1 muestran la distintas formas del nitrógeno en el agua residual

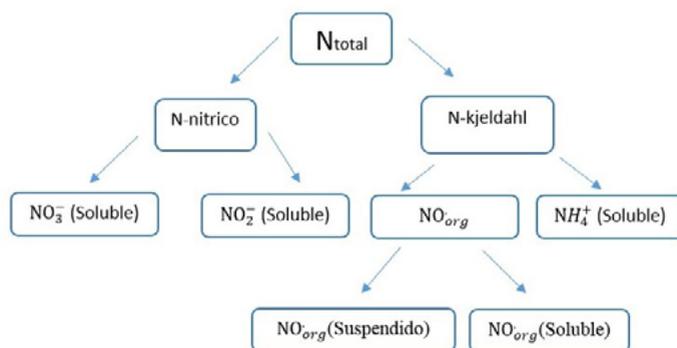


Figura 1. Fracciones del nitrógeno en el agua residual

Nitrificación

Consiste en la transformación de nitrógeno amoniacal en nitrato,

en dos etapas, por acción de las bacterias nitrificantes. Estas bacterias nitrificantes son autótrofas ya que utilizan el carbono inorgánico como fuente de carbono. Primero, las bacterias amonioxidantes convierten el nitrógeno amoniacal en nitrito. En un segundo paso, las bacterias nitritoxidantes convierten los nitritos en nitratos. De esta forma, la energía necesaria para el crecimiento bacteriano la obtienen de la oxidación de compuestos del nitrógeno. Parte del nitrógeno amoniacal es también asimilado en el tejido celular no sufriendo este proceso de nitrificación.

Desnitrificación

Es la segunda etapa del proceso de eliminación biológica de nitrógeno, durante este proceso el nitrato se transforma inicialmente en nitrito y este en óxido nítrico, óxido nitroso y finalmente en nitrógeno gas que se libera a la atmósfera. Según el tipo de bacteria que actúe se cumplirán todos los pasos de reducción o parte de ellos. Si el producto final de la desnitrificación es el N_2O gaseoso, la desnitrificación se convierte en un proceso perjudicial para el medioambiente ya que el aporte de este gas a la atmósfera contribuye al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono.

Fósforo

La Recuperación de fósforo de las aguas residuales ha gozado de gran interés durante los últimos 20 años, de esta manera la investigación se ha centrado en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para dicha recuperación es, como la precipitación/cristalización por otra parte, la recuperación de lodos de depuradora y cenizas de lodos.

En las aguas residuales el fósforo se puede presentar en forma de ortofosfatos, polifosfatos y como fósforo orgánico (Figura 2). La mayor contribución al fósforo total de las aguas residuales es de los ortofosfatos, que junto a los polifosfatos y a una pequeña porción del fósforo orgánico

constituyen todas las formas solubles del fósforo.

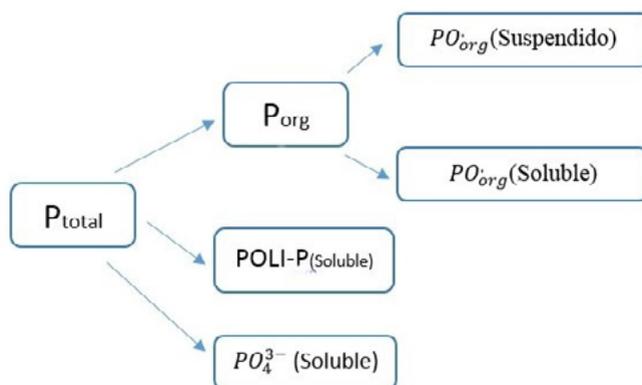


Figura 2. Fracciones del fósforo en el agua residual.

Procesos de recuperación de fósforo

Para las aguas residuales existen diferentes rutas posibles para recuperar el fósforo:

- **Recogida separada de los residuos de los inodoros.** Los excrementos humanos son una gran fuente de nutrientes en el agua residual, aunque la mayor proporción de estos se encuentra en la orina. Normalmente el 80% del nitrógeno, el 50% del fósforo y el 90% del potasio de la carga total de nutrientes que llega a una estación depuradora de aguas residuales procede de la orina (Larsen y col., 2001). Estos residuos separados pueden ser reciclados para uso en la agricultura después de un proceso de desinfección. En concreto, la orina, puede tratarse mediante un proceso de precipitación para obtener estruvita. (Maurer y col., 2006; Wilsenach y col., 2007)
- **Uso agrícola de los fangos de depuradora.** Los fangos procedentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales pueden emplearse para uso agrícola después de sufrir un proceso de desinfección.

En este caso, el fango sirve como sustituto parcial de los fertilizantes químicos, siendo así reutilizado el fósforo. En la aplicación del fango al suelo, la protección de la salud pública obliga a controlar el posible contacto con organismos patógenos. Entre los métodos existentes para conseguir una buena reducción de patógenos en los fangos se encuentran: compostaje completo a temperaturas superiores a 55°C y maduración por almacenamiento en pilas durante un mínimo de 30 días, adición de cloro para la desinfección y estabilización del fango, desinfección con otros productos químicos, y desinfección por radiación de alta energía.

- **Recuperación de fósforo en las estaciones depuradoras de aguas residuales.** El fósforo puede ser recuperado de las corrientes ricas en fósforo de las estaciones depuradoras de aguas residuales operadas mediante un proceso de eliminación biológica de nutrientes. El fósforo puede ser recuperado del tratamiento anaerobio del fango, o bien de la etapa anaerobia de un proceso de fangos activados con eliminación biológica de fósforo, donde este ha sido ya liberado a la solución. En estos casos el fósforo se recupera normalmente en forma de algún fosfato cálcico o en forma de estruvita. Estas técnicas están siendo ampliamente estudiadas.

- **Extracción de fósforo de las cenizas de incineración de los fangos de depuradoras.** Un grupo de investigación japonés (Matsuo, 1996) ha estudiado la posibilidad de recuperar fósforo a partir de las cenizas obtenidas al incinerar un fango procedente de un proceso de eliminación biológica de fósforo. El método consiste en elutriar las cenizas obtenidas con agua desionizada a distintas temperaturas o con vapor, lo que después de un proceso de filtración da lugar a una solución concentrada de fósforo. A esta solución concentrada se le aplicaría un proceso de precipitación para recuperar el fósforo. Este grupo de investigación ha mostrado así la posibilidad de recuperar fósforo a partir de cenizas, aunque esto sería adecuado solo en el caso en el que

la incineración fuera la ruta normal de tratamiento de los fangos. (Brett, 1997)

En los últimos años diversas investigaciones mostraron que la recuperación de fósforo es particularmente exitosa. Una de las técnicas más estudiadas es la cristalización donde el agua rica en fósforo se introduce en un tanque de precipitación / cristalización, en el cual se extrae el fósforo como fosfato de calcio o MAP (estruvita) añadiendo sales de calcio o magnesio y, en caso necesario, cristales de siembra. (Figura 3)

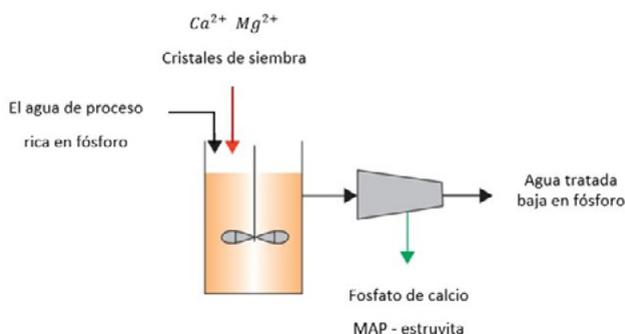


Figura 3. Recuperación de fósforo de la fase líquida durante el tratamiento de aguas residuales (Cornel and Schaum, 2009)

Materiales y Métodos

Los materiales utilizados en la investigación de campo al igual que los de laboratorio y oficina, así como los instrumentos, se detallan a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Materiales y equipos empleados.

Campo	Laboratorio	Oficina	Instrumentos
Mascarilla	Reactivos para	Computadora	Cámara digital
Botas de Agua	análisis de aguas	Útiles de	
Guantes Quirúrgicos	Espectrofotómetro	oficina	
Guantes de caucho	Placas Petri		
Overol impermeable	Cámara de flujo		
Frascos plásticos	Laminar		
Frascos de Vidrio	Digestor para DQO		
Marcador indeleble	Respirómetro para		
Apoya manos	DB05		
Hieleras portátiles	Incubadora para		
Materiales de aforo	DB05		

Plan de Muestreo

El plan de muestreo se estableció como parte de la planificación para evaluar la calidad de las aguas de la laguna de pulimiento, donde se definió el punto de monitoreo, frecuencia de muestreo, etc., que son descargadas al cuerpo receptor.

Identificación puntos de muestreo.

Para la identificación de los puntos de muestreo se realizó un recorrido previo con un funcionario de la Municipalidad de Rocafuerte que conocía el sistema de descarga de aguas residuales y también estuvo presente la directora de tesis.

Tipo de muestra y frecuencia de muestreo.

El tipo de muestra seleccionada fue muestra única, que tiene como objetivo el producir una muestra representativa de la calidad del agua en el punto de muestreo. Un detalle de la frecuencia de muestreo se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia de muestra

Horarios de muestreo	mayo 2016
Mañana (7h00-12h00)	4
Tarde (13h00-18h00)	5
Noche (19h00-24h00)	6

Condiciones de muestreo

Para las descargas de aguas residuales se recolectaron muestras compuestas, utilizando envases de plástico con capacidad de 5 litros, previamente lavados y esterilizados, luego para proceder a recoger la muestra se homogenizaban tomando un litro cada hora. Hubo dificultad para la recolección directa en el envase, por lo que se utilizó un recipiente adecuado para recolectar la muestra y luego depositarla en el envase.

Manejo de las muestras

Para el manejo de las muestras se consideró el tipo de muestra, el intervalo de tiempo entre la toma de muestra y el análisis y las condiciones de almacenamiento y transporte. Para ello, en la tabla 6, se presentan algunos aspectos relacionados con la toma, transporte y almacenamiento de muestras.

Tabla 6. Modelo de preservación de muestras. (Standard Methods, for the Examination of Water and Waste Water, 2005)

Parámetro	Envase	Tamaño mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo de conservación Recomendado/Regulado
pH	P, V	50	p, c	No requerido	Análisis inmediato
Conductividad	P, V	100	p, c	No requerido	Análisis inmediato
DBO	P, V	300	p, c	Refrigerar	4 horas
DQO	P, V	100	p, c	Refrigerar	7 horas
Fósforo Total	P, V	100	c	Refrigerar	48 horas
Nitritos	P, V	100	c	Refrigerar	24 horas
Nitratos	P, V	100	c	Refrigerar	24 horas
Sólidos sedimentables	P, V	1000	c	Refrigerar	7 días

P = envase de plástico (polietileno o equivalente) V = envase de vidrio
 p = puntual c = compuesta

Las muestras se analizaron en el laboratorio de la UTM en la facultad de Ingeniería Química, se determinaron los parámetros mencionados en la tabla 3, respetando cada uno de los procedimientos para cada análisis.

Resultados y Discusión

Análisis de Laboratorio

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de aguas residuales obtenidas del muestreo, los rangos que se estipulan a continuación están basados en la normativa ecuatoriana para descarga de agua residual.

Tabla 7. Resultado de la Caracterización Físico-Química y Microbiológica de las aguas.

PARÁMETROS	UNIDADES	#1	#2	#3	RANGO
PH	-	7.8	8.1	8	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	mg/l	3190	4230	4030	1000
OXÍGENO DISUELTO	mg/l	4.5	5.1	4.7	5
TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS	mg/l	1888	2100	2010	1600 - max
SULFURO DE HIDRÓGENO	mg/l	0.057	0.014	0.044	0.5
NITRÓGENO AMONICAL	mg/l	4.1	32	37	2 - 40
NITRITOS	mg/l	0.114	0.004	0.0084	0.7 - 1
NITRATOS	mg/l	3.8	1.2	2.2	3 - 7
-COBRE	mg/l	2.99	0.07	1.07	1.5 - 2.00
CROMO	mg/l	0.026	0.022	0.024	0.05 - 1.0
FÓSFORO	mg/l	3	5.1	4.5	5 - 15
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	113	63	85	250 - max
CLORUROS	mg/l	210	230	220	500 - max
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	45	52	47	100 - max
COLIFORMES FECALES	mg/l	>1100	>1100	>1100	99 %

Los análisis realizados a la laguna de pulimiento indican que, si bien cumplen con la mayoría de los parámetros de descargas, exceptuando los de cobre, conductividad, oxígeno disuelto, coliformes fecales, y sólidos disueltos que sobrepasan el rango permisible, las cifras tienen un rango moderado de descarga es decir están produciendo afectación al cuerpo receptor, cultivos de ciclo corto y al terreno.

Los valores también se ven afectados porque los lixiviados de botadero municipal se filtran a la laguna ya que no cuenta con la correcta protección

de sus taludes, además el basurero no tiene un manejo ambiental correcto.

Se debería tomar correctivos como revisar los tiempos de permanencia del agua en el EDAR, realizar análisis periódicos a las aguas de las lagunas para así identificar si no se está sobrecargando de nutrientes a los terrenos que son regados con estas aguas.

Teniendo en cuenta los análisis del agua residual, la economía del cantón y en particular el medio ambiente del sector donde se encuentran las lagunas se determinan la factibilidad de estos dos métodos para el aprovechamiento de los nutrientes que existen en el agua residual.

El agua residual es un recurso valioso que contiene casi un 99% de nutrientes si le ha brindado un buen tratamiento, esta agua jugaría un papel determinante en diferentes zonas donde se carece de agua para la agricultura, además sería beneficiosa ya que como se mencionó cuenta con nutrientes que no perjudican de manera directa como pesticidas o gran cantidad de sales como si lo hacen los productos sintéticos.

Los métodos para obtención de nutrientes están a la vanguardia y desarrollándose cada vez con más rapidez ya que todos necesitamos darle un respiro y aportar a la sostenibilidad del planeta.

En la actualidad en países como América Latina las aguas residuales tratadas se utilizan directamente en el riego de Cultivos para así aprovechar los NUTRIENTES como Nitrógeno y fósforo, y además aumentar la carga orgánica para la formación de humus.

También hay que considerar que uso no planificado de las aguas residuales, es decir sin tomar las medidas correctivas pueden causar daños a los cultivos, agricultores y consumidores por lo cual su utilización debe de ser correcta para no sobrecargar el terreno con nutrientes.

Se demuestra en el apartado anterior que importante implementar un método para recuperar los nutrientes, ya que esto ayudaría a los agricultores del sector a tecnificar y mejorar sus cultivos porque utilizaran productos con mayor sostenibilidad para el medio ambiente.

Si bien en el Ecuador recién se está incursionando en este ámbito hay países que en Europa demuestran que la aplicación de estos métodos es sustentable y ayuda a la sostenibilidad del ambiente, brindando productos de buena calidad a menos costo.

En diferentes países de Latinoamérica se han hecho guías para clasificar la reutilización del agua residual donde se demuestra el basto interés que se tiene por implementar tecnología que ayuden aportar con mejores recursos para la agricultura.

Se debe tener en cuenta que la reutilización del agua implica una obra de ingeniería es decir tiene que constar con todos los estudios viabilidad técnica, análisis ambientales que permitan cumplir con las normativas existentes. (www.aquaknow.net)

Conclusiones

1. En relación al primer objetivo los análisis del agua de la laguna de pulimiento dejaron evidenciar que en su mayoría esta cumple con la legislación de descarga, pero con los índices más bajos de calidad, lo cual provoca contaminación a los cuerpos receptores.

2. También se demuestra en los análisis que existe gran cantidad de cobre, conductividad, oxígeno disuelto, cloruros, coliformes fecales, y sólidos disueltos en la laguna de pulimiento, por lo cual no deberían tomar en cuenta los tiempos de permanencia del agua en las lagunas para ver si está cumpliendo con su objetivo.

3. Al descargar el agua al efluente natural (canal) sin el tratamiento correspondiente, se está afectando a la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, la estructura del suelo y la calidad de vida de la población.

4. El análisis de las alternativas para recuperación de nutrientes demuestra que existen 2 métodos que presentan mayor factibilidad según el medio, los cuales son: Precipitación/cristalización y el aprovechamiento agrícola de los fangos. Aunque tienen costos más elevados en su montaje,

estos métodos son más factibles y brindan las garantías para aprovechar el máximo de nutrientes de las aguas residuales.

5. Los métodos mencionados contribuyen a la menor utilización de químicos en los productos que se siembran en el Sector, aparte de generara un ahorro al agricultor debido a que los gobiernos municipales cobrar solo pueden cobrar los costos de procesamiento y los valores del producto serían menores que los de los fertilizantes que se comercializan.

Bibliografía

Balmér, P. (2004). Phosphorus recovery - an overview of potentials and possibilities. *Water Science and Technology*, 49(10), 185-190.

Barnard, J. (2009) Elimination of eutrophication through resource recovery. In: Ashley K, Mavinic D, and Koch F (eds.) Proceedings of the International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams. Vancouver: IWA.

Brett, S., Guy, J., Morse, G.K., Lester, J.N. (1997). Phosphorus removal and recovery technologies. London Selper Publications.

Cornel, P. y Meda, A. (2008a) Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung. GWF Wasser Abwasser 149 Nr. 13.

Cornel, P. y Schaum, C. (2009). Phosphorus recovery from wastewater – needs, technologies and costs. *Water Science and Technology* 59(6): 1069-1076.

Larsen, T.A., Peters, I., Alder, A., Eggen, R., Maurer, M., Muncke, J. (2001). Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. *Environmental Science and Technology*, 35(9), 92A-197A.

Larsen, T.A y Lienert, J. (2007). Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Eawag, 8600 Dübendorf, Schweiz.

- Matsuo, Y. (1996). Release of phosphorus from ash produced by incinerating waste activated sludge from enhanced biological phosphorus removal. *Water Science and Technology*, 34(1), 407-415.
- Maurer, M., Pronk, W., Larsen, T.A. (2006). Treatment processes for source-separated urine. *Water Research*, 40(17), 3151-3166.
- Raber, B. y Kogel-Knabner, I. (1995). Desorption of PAH polycyclic aromatic hydrocarbons from soils under the influence of dissolved organic substances. *Mitt. Dtsch. Bodenkd. Ges.* 76:421-424.
- Soler, R.; Brunetti, R. y Senesi, N. (2002). Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acids from sewage sludges and sludge-amended soils. *Soil Sci.* 167:235-245.
- Standart Methods. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 19th. Ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- Cornel, P. A. Meda, y Bieker. S. (2001) *Wastewater as a Source of Energy, Nutrients, and Service Water*, Technische University Darmstadt, Darmstadt, Germany. Cap:4.12.5
- Wilsenach, J.A., Schuurbijs, C.A.H., van Loosdrecht, M.C.M., (2007). Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation. *Water Research*, 41(2), 458-466.
- www.aquaknow.net. Aprovechamiento y Reuso de Aguas Residuales. Recuperado de <http://www.aquaknow.net/en/system/files/1%20Aprovechamiento.pdf>

CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Introducción

Los sistemas eléctricos en la actualidad cumplen parcialmente el propósito para las que fueron construidos, ya que a pesar de los avances tecnológicos recientes aún mantienen una estructura centralizada en donde los puntos de generación están distantes de los centros de consumo, lo que conlleva a que se produzcan pérdidas de energía durante este trayecto. Hay que considerar que en los próximos años se espera un incremento considerable de la demanda eléctrica, lo que repercutirá directamente sobre las pérdidas que se produzcan a lo largo del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP). Con este antecedente, se puede afirmar con total seguridad de que el escenario energético para los próximos años estará enfocado en el manejo óptimo de la energía eléctrica.

De acuerdo a la Asociación Española para la Calidad (AEC), la gestión energética consiste en la optimización en el uso de la energía buscando un uso racional y eficiente, sin disminuir el nivel de prestaciones. Al igual que en la gestión financiera, la gestión energética busca administrar adecuadamente los recursos energéticos, ya sean de un gran sistema eléctrico de potencia como de una planta industrial, de tal manera que esos recursos sean utilizados de forma racional y eficiente, sin afectar las prestaciones y sobre todo garantizando seguridad energética a dichas instalaciones. La gestión energética conlleva la mejora continua de los procesos con miras a la optimización en el consumo de los recursos energéticos (energía eléctrica, calor, combustibles), la búsqueda de los consumos significativos y uso de tecnologías eficientes energéticamente,

así como también el planteamiento de objetivos a corto, mediano y largo plazo en reducción de consumo de energía.

La Facultad de Ingeniería en su afán de contribuir con mecanismos para la optimización en el uso de los recursos energéticos creó el programa de investigación denominado “Gestión de Recursos Energéticos”, el cual en la actualidad cuenta con dos proyectos de investigación debidamente aprobados por el Departamento Central de Investigación. Uno de los proyectos titulado “Sistema de Gestión Energética en la ULEAM”, busca establecer un sistema de gestión energética para la universidad, identificando las unidades académicas o administrativas que mayor consumo representen, para posteriormente establecer indicadores de gestión para una mejora continua del sistema. Por otra parte, el proyecto “Análisis de recursos energéticos en los cantones Manta, Montecristi y Jaramijó” tiene como objetivo principal analizar el recurso solar, eólica y de biomasa disponible en estos cantones, para posteriormente estimar la producción energética con miras a la sustitución de sistemas de generación con combustibles fósiles por tecnologías de generación renovables y amigables con el medio ambiente.

El presente capítulo titulado “Gestión Energética” muestra los resultados de diversos trabajos de investigación relacionados al uso eficiente de la energía eléctrica, así como también de tecnologías de gestión de los recursos energéticos. El uso de la termografía como mecanismo de reducción de pérdidas de energía eléctrica, o el uso de energías renovables en poblados alejados de entornos urbanos son algunos de los temas que se mostrarán en este capítulo. Este capítulo está conformado por 6 trabajos de investigación realizados por reconocidos docentes pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la ULEAM, profesores con vasta experiencia académica y profesional en el tema del manejo y gestión de recursos energéticos, eficiencia energética y energías renovables.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA COMUNIDAD RÍO BLANCO DEL CANTÓN PUERTO LÓPEZ

Milton Moreano Alvarado

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Eléctrico y Master en Energías Renovables y Eficiencia Energética. Correo: milton.moreano@uleam.edu.ec.

Marcos Ponce Jara

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial y Master en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automatización.

Correo: marcos.ponce@uleam.edu.ec.

Anthony Ponce Quiroz

Estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: anthony.ponce.quiroz@gmail.com

Resumen

El presente trabajo propone el diseño de una instalación de generación eléctrica con fuentes renovables para cubrir la demanda energética de la Comunidad Río Blanco del cantón Puerto López. El software de optimización energética HOMER fue utilizado para plantear dos propuestas de instalación: un sistema fotovoltaico con baterías y un sistema híbrido fotovoltaico-diesel. Como resultado de la simulación, se encontró que ambas propuestas son viables económicamente en comparación con la construcción de una nueva línea trifásica para brindar suministro eléctrico a la población.

Palabras claves: red aislada, sistema fotovoltaico, energías renovables.

DESIGN OF AN ISOLATED RENEWABLE GENERATION SYSTEM FOR RIO BLANCO COMMUNITY FROM PUERTO LOPEZ CITY

Abstract

The present work proposes the design of an electrical generation installation with renewable sources to cover the energy demand of the Rio Blanco Community of Puerto López. The HOMER energy optimization software was used to propose two installation proposals: a photovoltaic system with batteries and a photovoltaic-diesel hybrid system. As a result of the simulation, it was found that both proposals are economically feasible compared to the construction of a new three-phase line to provide electricity to the community.

Keywords: isolated network, photovoltaic system, renewable energy.

Introducción

En el mundo viven alrededor de 1.500 millones de personas sin electricidad, de acuerdo a las estimaciones de la Unión Europea, no obstante, teniendo en cuenta que estas personas se encuentran en regiones remotas a las redes eléctricas, las inversiones necesarias para ampliar las redes son muy elevadas. En el Ecuador, gracias a la implementación de la nueva matriz energética, de ha ido mejorando la calidad del servicio eléctrico a nivel nacional, sin embargo, las empresas de distribución de energía eléctrica no siempre cubren toda la demanda de su área de concesión, reduciendo drásticamente el acceso a la electricidad en comunidades alejadas de los centros urbanos, así como también la calidad del suministro eléctrico que las mismas reciben.

Los sistemas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica son diseñados bajo la funcionalidad de dotar de energía eléctrica a las ciudades, pueblos o asentamientos que demanden del uso de energía eléctrica de acuerdo a las necesidades de la zona, para estos grandes

desafíos la ciencia y la tecnología han tenido un gran avance en las formas de producir energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de los recursos renovables, nuestro país ha sido uno de los más beneficiados por tener gran capacidad de recursos renovables por encontrarse en una zona demográfica y climatológicamente ventajosa, a diferencias de otros países de América, ya que posee una Insolación Global promedio de 4574,96 wh/m²/día. (CONELEC)

Pareciera impensable que en tiempos modernos no se disponga de suministro eléctrico continuo y de calidad para los habitantes de las grandes ciudades y zonas urbanas aledañas. Sin embargo, esta realidad aún la viven muchos hogares especialmente en las zonas rurales y apartadas a las ciudades, lo cual trae como consecuencia un lento desarrollo socioeconómico, lo cual obliga a estas comunidades a suplir su necesidad mediante otras alternativas. Esta publicación pretende mostrar los resultados de un estudio realizado para suplir de energía eléctrica con fuentes alternativas a la comunidad “Río Blanco” del cantón Puerto López de la provincia de Manabí, la cual se encuentra ubicada a 11.5 Km. al este de la cabecera cantonal del cantón Puerto López.

Actualmente la comunidad cuenta con una red de suministro eléctrico monofásico a nivel de medio voltaje provisto por la empresa distribuidora CNEL EP Manabí. Debido a la distancia existente de 11.5 Km desde la red principal hasta la comunidad y a las constantes lluvias en cada temporada del año, no es posible mantener un servicio eléctrico de calidad, además de las afectaciones que causa la extensa vegetación existente sobre el tendido eléctrico ocasionan fallas recurrentes del servicio eléctrico. Se plantea un diseño de instalación aislada a la red eléctrica con generación renovable el cual nos ayude a satisfacer las necesidades de los usuarios del servicio eléctrico en la comunidad de Río Blanco del cantón Puerto López, tomando como referencias estudios de diseños de redes aéreas de medio voltaje para la reconstrucción o nueva construcción de una

red desde la cabecera cantonal hasta la comunidad.

El presente trabajo mostrará un estudio técnico – económico de un modelo de generación alternativa aislada de la red apoyándose en el software de simulación y optimización HOMER. El presente estudio se fundamenta en aspectos técnicos y económicos, además emite criterios para la evaluación del proyecto, desde el punto de vista técnico y económico, así como también el espacio físico para el posible montaje de la nueva planta de generación eléctrica, costos de mantenimiento, proyección de funcionamiento de estos equipos, entre otros.

Originalmente desarrollado en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable o NREL, y mejorado y distribuido por HOMER Energy, HOMER (Modelo de Optimización Híbrida para Recursos de Energía Múltiple) jerarquiza tres poderosas herramientas en un producto de software, de modo que la ingeniería y la economía funcionen una al lado de la otra. En su esencia, HOMER es un modelo de simulación el cual intentará simular un sistema viable para todas las combinaciones posibles del equipo que desee considerar. Dependiendo de cómo configure su problema, puede simular cientos o incluso miles de sistemas. HOMER simula el funcionamiento de una microrred híbrida durante todo un año, en pasos de tiempo de un minuto a una hora. (Homer, 2014)

Marco Teórico y Metodología

Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) son claves para el bienestar y el progreso de la sociedad moderna. Estos permiten el suministro de energía eléctrica con la calidad adecuada para manejar motores, iluminar hogares y calles, hacer funcionar plantas de manufacturas, negocios, así como para proporcionar potencia a los sistemas de comunicaciones y de cómputo. El punto de inicio de los sistemas eléctricos son las plantas generadoras que convierten energía mecánica a energía eléctrica; esta energía es entonces transmitida a grandes distancias hacia los grandes

centros de consumo mediante sistemas de transmisión; finalmente, es entregada a los usuarios mediante redes de distribución. (Cinvestav, 2017)

Energía eléctrica Convencional

Corresponde a la energía producida por las primeras fuentes de energía descubiertas por el hombre y que en la actualidad son las más comunes o conocidas con las que se ha venido trabajando desde hace mucho tiempo y no ha sufrido una variación importante. Así tenemos:

- La energía hidráulica que se genera en las centrales hidroeléctricas producida por la fuerza del agua. Es denominada también hidroelectricidad.
- La energía generada por el procesamiento de los combustibles fósiles más conocidos tales como el petróleo, de dónde se obtiene los siguientes derivados: la gasolina, el Diésel 2 y Diésel 5, utilizada en la gran mayoría de motores en dónde se produce combustión y explosión para generar trabajo.
- La energía generada por el carbón, que sirve como combustible para generar calor y convertirse en trabajo.

Una particularidad RESALTANTE de esta clase de energía es que las fuentes para generar la misma es conocida como NO renovable. (Granda, 2013)

Energía Eléctrica No Convencional

Se conoce como Energía Eléctrica NO Convencional a aquella energía que es generada por fuentes recientemente descubiertas o pocas conocidas y de poca aplicación debido todavía a sus altos costos para implementarla.

Entre las más conocidas actualmente se tiene:

- Energía solar: generada por el sol
- Energía eólica: generada por la fuerza del viento
- Energía química
- Nuevas fuentes de energía que se puedan crear

A diferencia de las fuentes de energía eléctrica Convencional una particularidad RESALTANTE de esta clase de energía es que las fuentes para generar las mismas son consideradas como RENOVABLES. (Granda, 2013)

Sistemas aislados de la red

Una instalación renovable aislada es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona al propietario energía eléctrica procedente de la luz del sol o del viento o alguna otra fuente renovable. En la mayor parte de las instalaciones se requiere el almacenamiento de la energía generada en acumuladores o baterías y permite utilizarla durante las 24 horas del día.

Las instalaciones aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas. Aunque con la llegada al mercado de nuevas soluciones en almacenamiento de energía (baterías) y con la futura bajada en los precios de las mismas, este tipo de sistemas pueden ser económicamente rentables en otras muchas aplicaciones (Beter Energy, 2017). Un claro ejemplo de estos sistemas son los sistemas solares fotovoltaicos aislados a la red (*Figura 1*).

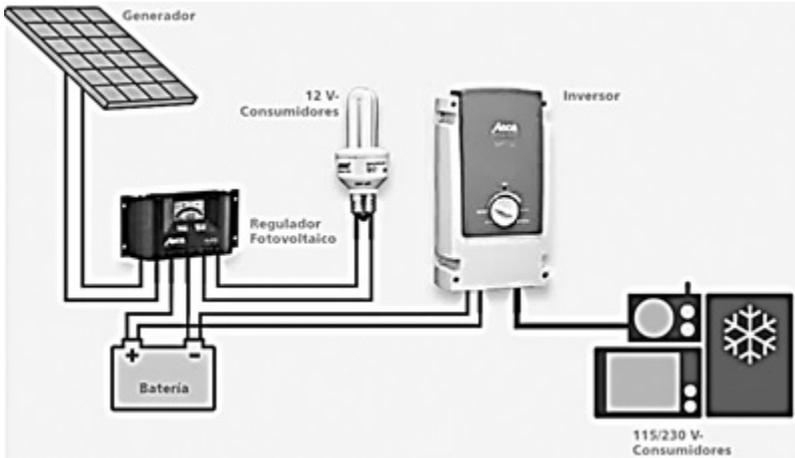


Figura 1 - Sistema fotovoltaico aislado a la red. Fuente: <http://e-educativa.catedu.es>

La instalación de un sistema fotovoltaico aislado debe ser debidamente planificada, estudiada y diseñada, teniendo en cuenta, principalmente, estos cinco factores:

- La potencia de conexión necesaria
- El consumo de energía
- El tipo de consumo (corriente continua, alterna, monofásica, trifásica, etc.)
- El período de uso
- La localización y el clima

Sistemas solares fotovoltaicos aislados a la red pública en el Ecuador.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como en comunidades aisladas por selvas, montañas o islas, o en estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, empleamos los paneles solares fotovoltaicos como la mejor alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia

de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica, y se calcula que existen cerca de 7 millones de personas en el Perú y 1 millón en Ecuador que no tienen acceso a electricidad por medio de la red pública.

La Tabla 1 muestra en resumen las plantas de energía fotovoltaica con mayor producción de energía en el Ecuador.

Tabla 1 - Plantas de Energía de Solar en el Ecuador. Fuente: ARCONEL.

Empresa	Ubicación	Central	Potencia Efectiva (1(MW))
<i>Gransolar</i>	<i>Salinas Urcuqui-Imbabura</i>	<i>Salinas</i>	<i>2,00</i>
<i>Brineforcorp</i>	<i>Manabí-San Vicente</i>	<i>Brineforcorp</i>	<i>1,00</i>
<i>Electrisol</i>	<i>Pichincha-PedroMoncayo</i>	<i>Paneles Electrisol</i>	<i>1,00</i>
<i>Pastocalle</i>	<i>Cotopaxi-Mulalo</i>	<i>Pastocalle</i>	<i>1,00</i>
<i>Gonzanergy</i>	<i>Loja-Gonzanama</i>	<i>Gonzanergy</i>	<i>1,00</i>
<i>Grasolar</i>	<i>Imbabura-San Miguel de Urcuqui</i>	<i>Tren Salinas</i>	<i>1,00</i>
<i>San Pedro</i>	<i>Loja-Gonzanama</i>	<i>San Pedro</i>	<i>1,00</i>
<i>Sanersol</i>	<i>El Oro-Santa Rosa</i>	<i>Sanersol</i>	<i>1,00</i>
<i>Sansau</i>	<i>Guayas-Salitres</i>	<i>Sansau</i>	<i>1,00</i>

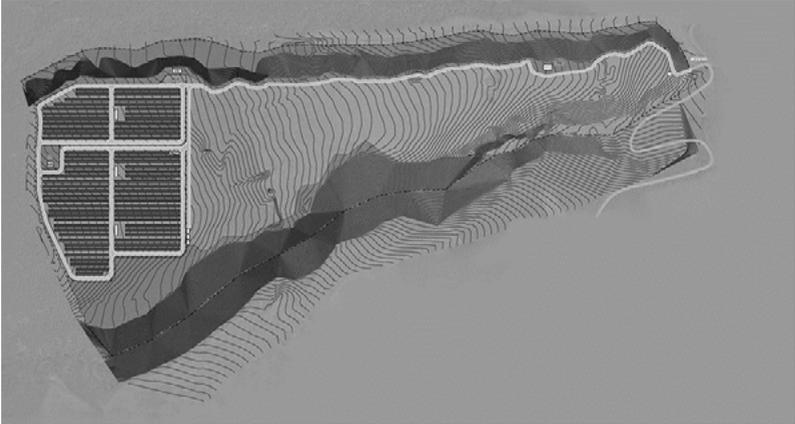


Figura 2 - Proyecto Solar fotovoltaico Gransolar. Fuente: <http://e-educativa.catedu.es>

Los Sistemas Solares Fotovoltaicos Aislados o tipo Isla pueden tener una extensa diversidad de aplicaciones, tomando en cuenta las necesidades de las poblaciones rurales de Perú y Ecuador. (Renova-Energía, 2015)

Análisis y Resultados

1. El Ecuador es una región rica en recursos naturales, que de ser explotados racionalmente pueden ser utilizados para generar energías renovables. Las comunidades alejadas o rurales, son las que más han experimentado la utilización de energías renovables, puesto que gran parte de las instalaciones de sistemas de generación eléctrica se han desarrollado en estas comunidades y de aquí la energía eléctrica una vez generada se distribuye a las ciudades o poblados principales.

En otros casos estas comunidades alejadas no disponen de energía eléctrica, y en el caso de contar con el suministro, este no es de buena calidad o con el pasar de los años se deterioran los elementos que transportan la electricidad y baja la calidad del servicio. A continuación se mostrarán el análisis de las variables climatológicas y eléctricas de la

Comunidad “Río Blanco”, las cuales serán insumo vital para la estimación del sistema de generación.

Clima y temperatura

Durante el año virtualmente no hay precipitaciones. Este clima es considerado BWh según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Puerto López se encuentra a 24,7 °C. La precipitación media aproximada es de 279 mm (*Figura 3*). (Climate-data, 2016)

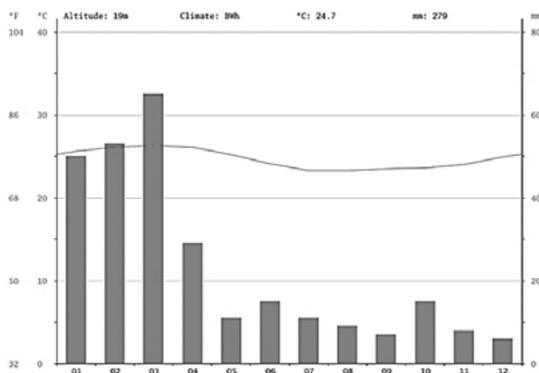


Figura 3 - Climograma Puerto López. Fuente: <https://es.climate-data.org>

El mes más seco es diciembre, con 6 mm de lluvia. 65 mm, mientras que la caída media en marzo. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año (*Figura*). (Climate-data, 2016)

CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS

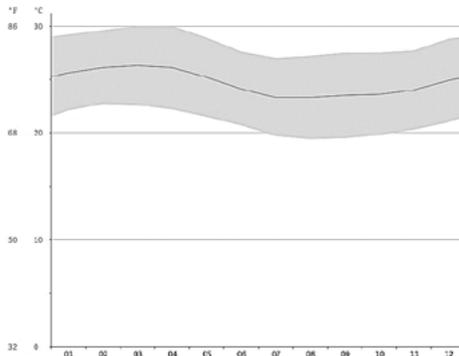


Figura 4 - Diagrama de Temperatura Puerto López. Fuente: <https://es.climate-data.org>

En la Tabla 2, se muestran los datos históricos del tiempo en Puerto López, Cantón donde se encuentra la comunidad Río Blanco. Según estos datos marzo es el mes más cálido del año, siendo en este mes la temperatura promedio 26,3 °C. así mismo se puede ver que el mes más frío del año es julio con una temperatura promedio de 23,3 °C (Tabla 2).

Tabla 2 - Datos históricos del tiempo Puerto López. Fuente: <http://www.renova-energia.com>

Temperatura	Enero	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media (°C)	25.6	26.1	26.3	26.1	25.2	24.1	23.3	23.3	23.5	23.6	24	24.9
Min. (°C)	22.1	22.7	22.6	22.2	21.5	20.7	19.7	19.4	19.5	19.8	20.3	21
Más. (°C)	29.2	29.6	30	30	28.9	27.6	27	27.2	27.5	27.5	27.7	28.8
Media (°F)	78.1	79.0	79.3	79.0	77.4	75.4	73.9	73.9	74.3	74.5	75.2	76.8
Min. (°F)	71.8	72.9	72.7	72.0	70.7	69.3	67.5	66.9	67.1	67.6	68.5	69.8
Más. (°F)	84.6	85.3	86.0	86.0	84.0	81.7	80.6	81.0	81.5	81.5	81.9	83.8
Precipitación (mm)	50	53	65	29	11	15	11	9	7	15	8	6

Hay una diferencia de 59 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. Las temperaturas medias varían durante el año en un 3.0 °C. (Climate-data, 2016)

Perfil de carga diario

El análisis de energía consumida diaria en los hogares se obtiene mediante los datos de consumo mensual proporcionados por CNEL EP y también se tomó como referencia la información y la tabla de curvas de duración de carga diaria residencial del libro redes de distribución de Energía [6, p. 21 y 22].

Para el análisis del consumo de alumbrado público se tomaron en cuenta las 7 iluminarias que existen en el sector cada una de 250W lo que nos da como resultado un consumo de 1,75KW como se muestra más adelante.

Para el análisis de energía consumida por la bomba de agua de 3 hp se determinó la potencia en vatios y luego se obtuvo el consumo, misma bomba que se utiliza durante 2 horas, obteniendo los siguientes datos (Figura 1):



Figura 1 - Grafica del perfil de carga diario. Fuente: El Autor.

En la Figura 1 podemos observar una gráfica del perfil de carga diario, en esta grafica podemos observar que en gris oscuro se representa el consumo de las viviendas durante las diferentes horas de un día (24 Horas), así también se puede observar que las horas de más consumo durante el día son desde las 19H00 hasta las 22H00. El consumo energético del alumbrado público el cual sería el mismo desde las 19H00 hasta las 6H00. Finalmente, el consumo de la bomba de agua de la comunidad que solo es utilizado dos horas al día, de 15H00 a 17H00.

Situación actual de las líneas de suministro eléctrico de la comunidad

El estado actual de las líneas que conducen el suministro eléctrico es pésimo, no solo por la vegetación que se encuentra adherida a las líneas, sino también por la existencia de casos en la que los postes de cemento son reemplazados por cañas o postes de madera inadecuados para el caso, esto lo podemos apreciar en la *Figura 2*.



Figura 2 - Postes de madera en mal estado. Fuente: El Autor

La línea que actualmente brinda el servicio eléctrico tiene su inicio desde la calle principal del cantón Puerto López en la av. Machalilla hasta la comunidad mencionada y posee una longitud de 12km. Está compuesta por alrededor de 100 postes utilizando conductor ASCR 1/0 que alimenta a 2 transformadores convencionales que se encuentran en

la comunidad, de 5 kVA y de 10 kVA respectivamente y operan a un nivel de voltaje primario de 7960 V con un voltaje secundario de 240/120 V.

Pruebas y resultados con el Software Homer

Para las simulaciones en cuestión, tomaremos los datos obtenidos en campo de la comunidad Rio Blanco, se pudo constatar su consumo real a través de la facturación eléctrica por parte de la empresa distribuidora.

Se consideraron para la simulación del sistema eléctrico dos escenarios más relevantes que se ajustan a los recursos que posee la comunidad:

Primer escenario - Generación solar fotovoltaica/baterías.

Para aprovechar el principal recurso energético como la radiación solar se opta por tomar esta opción y a ello sumarle un banco de baterías capaz de suministrar energía eléctrica mientras no exista radiación solar. Esta alternativa es la más viable al momento de evitar emisiones de gases contaminantes por efecto de generación eléctrica a diésel.

Segundo escenario - Generación híbrida solar fotovoltaica/baterías/diésel

Su generación se basa en 2 tipos de fuentes distintas: generación solar con sus respectivos paneles solares y banco de baterías, y generación mediante un generador diésel cuya finalidad es servir de respaldo y abastecer de energía eléctrica en horas pico al sistema o en días pocos soleados.

El gran potencial de recurso solar que tiene la comunidad permite la interacción de estas dos alternativas, así como también los amplios terrenos que posee facilitarían la instalación de un parque Solar.

No se toman en consideración los escenarios de generación Eólica y generación Hidráulica por las siguientes razones:

La comunidad se encuentra ubicada entre colinas, esto impide que se encuentren velocidades suficientes del viento para poder instalar

un parque eólico.

- La comunidad posee gran cantidad aves silvestres que se pueden ver afectadas por la instalación de aerogeneradores.
- La comunidad no posee suficiente recurso hídrico o presas de almacenamiento para generar energía.
- Los costos de construcción de centrales a pequeña escala de Generación Hidroeléctrica son elevados.

Primer escenario - Generación solar fotovoltaica/baterías.

Con la finalidad de evitar contaminación al momento de generar energía eléctrica por más mínimas que sean las emisiones, se optó por realizar una simulación de nuestro sistema sin la utilización de un generador Diésel, se incluyeron baterías a nuestro sistema debido a que la radiación solar en la noche es casi nula entonces no se vería afectado en ningún momento, se realizó lo siguiente en HOMER SIMULATE.

El sistema estará compuesto de paneles solares fotovoltaicos, baterías, inversor y regulador. Para realizar los cálculos y que los resultados que nos arroje el programa sean lo más aproximado a la realidad se procedió a consultar valores de equipos en páginas web de nuestro país, verificando en web de otros países, así como también su información técnica de cada elemento que nos servirá para los diferentes cálculos que realizaremos.

Se procedió a realizar el ingreso de la carga en función de la demanda en kW por hora de un día, asumiendo los valores de todo el sector residencial y sus cargas especiales para alumbrado público y bombeo de agua (Tabla 3).

Tabla 3 - Datos de Demanda. Fuente: El autor

Demanda Eléctrica	
Hora	Carga (kW)
0	3,500
1	2,670
2	2,670
3	2,670
4	2,670
5	2,680
6	3,050
7	1,480
8	2,060
9	1,840
10	0,940

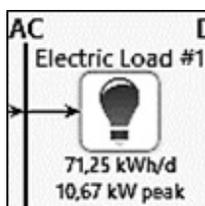


Figura 3 - Carga ingresada con datos de la demanda pico y los kWh/d. Fuente: software HOMER.

Una vez realizado el ingreso podemos observar que el programa muestra por default las curvas de perfil diario, perfil mensual y el perfil mensual (*Figura 4*).

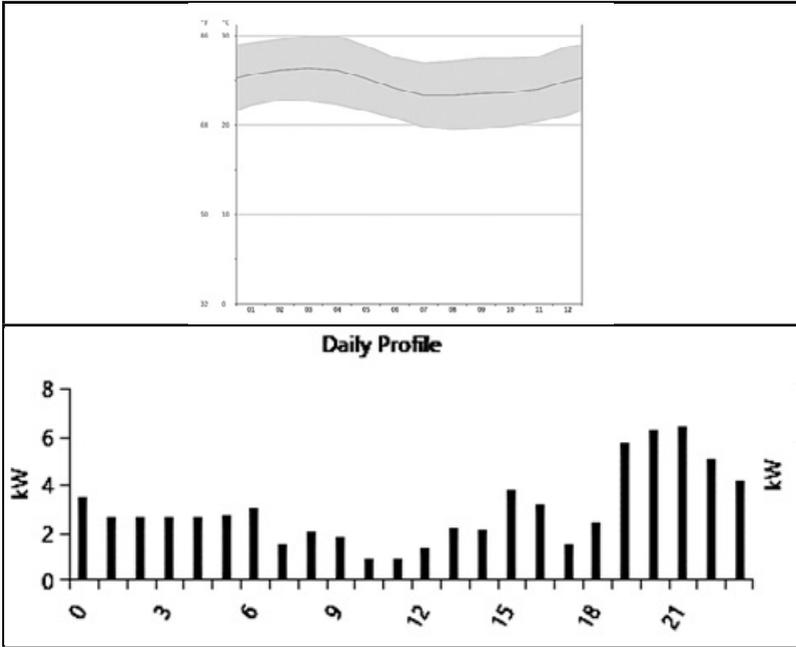


Figura 4 - Perfil diario de la carga. Fuente: software HOMER.

Presupuesto inicial para el primer escenario

El costo inicial de este sistema que nos proporciona el software carece del ingreso de costos de instalación, herrajes, bases y conductores, es por ello que en la presente tabla se detalla los costos totales de la inversión inicial, ya que los costos por manteniendo si están incluidos.

La Tabla 1 detalla los gastos de materiales que se utilizarían en la realización de la primera propuesta del sistema fotovoltaico aislado a la red. Cabe recalcar que el estimado económico que está en la tabla solo corresponde a gastos de los elementos que integrarían el sistema fotovoltaico.

Tabla 1 - Presupuesto del primer caso. Fuente: El autor.

Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
Paneles solares 330W	36	400	14400
Baterías	29	299	8671
inversores	9	700	6300

Segundo escenario - Generación híbrida solar fotovoltaica/generador diésel.

El sistema estará compuesto de paneles solares fotovoltaicos, regulador, baterías, inversor y un generador diésel, para nuestro sistema se eligió un generador a diésel de 10 kW de acuerdo a los valores de demanda en caso de existir algún problema en la red de generación fotovoltaica.

Para realizar los cálculos y que los resultados que nos arroje el programa sean lo más aproximado a la realidad se procedió a consultar valores de equipos en páginas web de nuestro país, comparando con web de otros países, así como también la información técnica de cada elemento que nos servirá para los diferentes cálculos que realizaremos.

Se procedió a realizar el ingreso de la carga en función de la demanda en kW por hora de un día, asumiendo los valores de todo el sector residencial y sus cargas especiales para alumbrado público y bombeo de agua (Tabla 2 - Figura 5).

Tabla 2 - Datos de Demanda. Fuente: el autor.

Demanda Eléctrica	
Hora	Carga (kW)
0	3,500
1	2,670

2	2,670
3	2,670
4	2,670
5	2,680
6	3,050
7	1,480
8	2,060
9	1,840
10	0,940

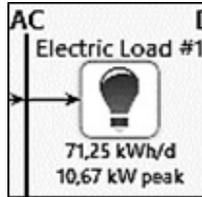


Figura 5 - Carga ingresada con datos de la demanda pico y los kWh/d. Fuente: software HOMER.

Una vez realizado el ingreso podemos observar que el programa muestra por default las curvas de perfil diario (Figura 6).



Figura 6 - Perfil diario de la carga. Fuente: software HOMER.

Presupuesto inicial del segundo caso

El costo inicial de este sistema que nos proporciona el software carece del ingreso de cotos de instalación, herrajes, bases y conductores, es por ello que en la presente tabla se detalla los costos totales de la inversión inicial, ya que los costos por manteniendo si están incluidos.

La Tabla 3 detalla los gastos de materiales, herrajes que se utilizarían en la realización de la segunda propuesta del sistema fotovoltaico con generador aislado a la red.

Tabla 3 - Presupuesto del segundo caso. Fuente: el autor

Ítem	Cantidad
Paneles solares 330W	36
Baterías	22
Inversores	6

Conclusiones

1. La comunidad de Río Blanco resulta ser un lugar de óptimas condiciones para la realización de proyectos de generación Solar Fotovoltaicos e Híbrido (Solar-Diésel) Aislados de la red de servicio eléctrico público, puesto que presenta favorables recursos de radiación solar.

2. Las propuestas planteadas tienen la posibilidad de crecimiento en función del aumento de la demanda energética. En eso radica la versatilidad de sistemas de generación renovable.

3. Indudablemente, el subsistema de acumulación es imprescindible en un sistema aislado a la red. Con la presencia de baterías se hará frente a los requerimientos energéticos cuando la radiación sea mínima o nula, reduciendo costos de inversión a largo plazo.

4. Las alternativas de generación de energía de este tipo permiten garantizar la continuidad del servicio eléctrico y la confiabilidad del sistema.

Bibliografía

- Beter Energy (2017). Sistemas aislados y conectados a red. Recuperado de <http://www.beterenergy.com/index.php/proyectos/sistemas-aislados>
- Cinvestav. (2017). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://www.cinvestav.mx/es-mx/departamentos/sistemaselectricosdepotencia.aspx>
- CONELEC. (s.a.). Atlas solar con fines de generación eléctrica.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2016). CLIMATE-DATA.ORG. Recuperado de <https://es.climate-data.org/location/25465/>
- Granda, P. M. V. (2013). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/423/1/Tesis.pdf>
- Homer, H. E. LLC. (2014). Energy LLC. Recuperado de <https://www.homerenergy.com/homer-pro.html>
- Ramírez Castaño, S. (2004). Redes de Distribución de Energía, de Redes de Distribución de Energía, Manizales, Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, pp. 21 y 22.
- Renova-Energía, (2015). Energía Solar Fotovoltaica Conexión de Red. Recuperado de <http://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/>

AUTOMATIZACIÓN APLICADA A UNA EMPRESA MOLINERA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE CONTROL PID

Carlo Alonso Cano Gordillo

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. Ingeniero Electrónico y Magíster en Telecomunicaciones.

Correo: carloalonsocg@gmail.com

Milton Enrique Moreano Alvarado

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. Ingeniero Eléctrico y Master en Energías Renovables y Eficiencia Energética: mmoreanoalvarado@gmail.com

Carlos Alberto Velásquez Figueroa

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia y Master en Ciencias en Ingeniería de Energías Renovables.

Correo: carlosvf85@gmail.com

Resumen

En las visitas realizadas en empresas molineras en la ciudad de Manta se ha encontrado falencias técnicas en los centros del control eléctrico y electrónico. Por este motivo esta investigación se enfoca en dar una solución de ingeniería para estabilizar un proceso productivo para elevar la eficiencia mediante un sistema automático. El objetivo principal es analizar, establecer y determinar un sistema de control industrial por realimentación (PID). La metodología utilizada es establecer un algoritmo que controle tres parámetros: el proporcional, el integral y el derivativo. En una empresa local de elaboración de alimentos balanceados para el consumo de animales de granja se elaboró un sistema PID para estabilizar

la producción, el cual tuvo resultados favorables; optimizando recursos. Con este control de lazo cerrado, el funcionamiento de la maquinaria en el involucramiento del proceso es más efectivo y la operación es la correcta, de esta manera se evita el desgaste innecesario de los equipos y por de ésta manera existen ganancias de dinero y de tiempo.

Palabras clave. – control, industrial, realimentación, proporcional.

AUTOMATION APPLIED TO A MILLING COMPANY, THROUGH THE ANALYSIS OF A PID CONTROL SYSTEM

Abstract

In the visits made in milling companies in the city of Manta has been technical flaws in the centers of electrical and electronic control. For this reason, this research focuses on providing an engineering solution to stabilize a production process to increase efficiency through an automatic system. The main objective is to analyze, establish and determine an industrial control system by feedback (PID). The methodology used is to establish an algorithm that controls three parameters: the proportional, the integral and the derivative. In a local company for the production of balanced feed for the consumption of farm animals, a PID system was developed to stabilize production, which had favorable results optimizing resources. With this closed loop control the operation of the machinery in the involvement of the process is more effective and the operation is correct, in this way unnecessary wear of the equipment is avoided and therefore there are gains of money and time.

Keywords. - control, industrial, feedback, proportional.

Introducción

En la ciudad de Manta, tercera ciudad en importancia y capital atunera

del Ecuador, existen diferentes tipos de negocios de tratamiento de comida para animales. En este caso se trata de una empresa molinera de productos balanceados, veremos el análisis y aplicación de un sistema automático de control de lazo cerrado de tipo: “Proporcional – Integral – Derivativo”; comúnmente denominado “Control PID”. En la empresa de productos balanceados se obtiene la materia prima, la cual es almacenada en tolvas y silos para luego ser transportada, procesada y finalmente empaquetada.

Todo este proceso no tiene un control automático estable, existen pérdidas de materia prima, desgaste de maquinaria y exceso en trabajo hora/hombre. En el presente trabajo se plantea una solución automática, teniendo como objetivo principal obtener un proceso estable, seguro, garantizado y eficiente optimizando recursos.

Desarrollo

Se inspeccionó una empresa molinera local de alimentos balanceados, y se realizó el levantamiento de información. Se obtuvo que tiene 14 tolvas y 3 silos de almacenamiento de la materia prima, estas son transportadas por unas bandas controladas manualmente para luego ser: seleccionadas, pesadas, distribuidas, revisadas, supervisadas, empacadas y una segunda revisión final. Todos los pasos antes descritos pueden ser automatizados, para ello se diseñó un diagrama de flujo descrito en la figura 1.

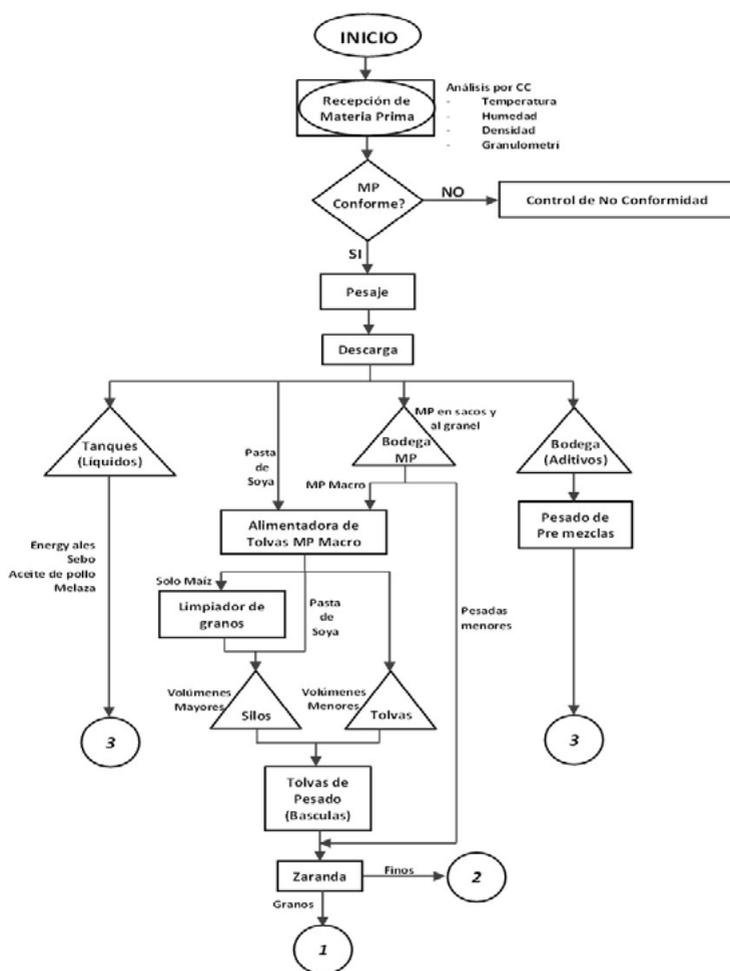


Figura 1 – Diagrama de Flujo General – Automatización Planta Molinera
Fuente: El autor

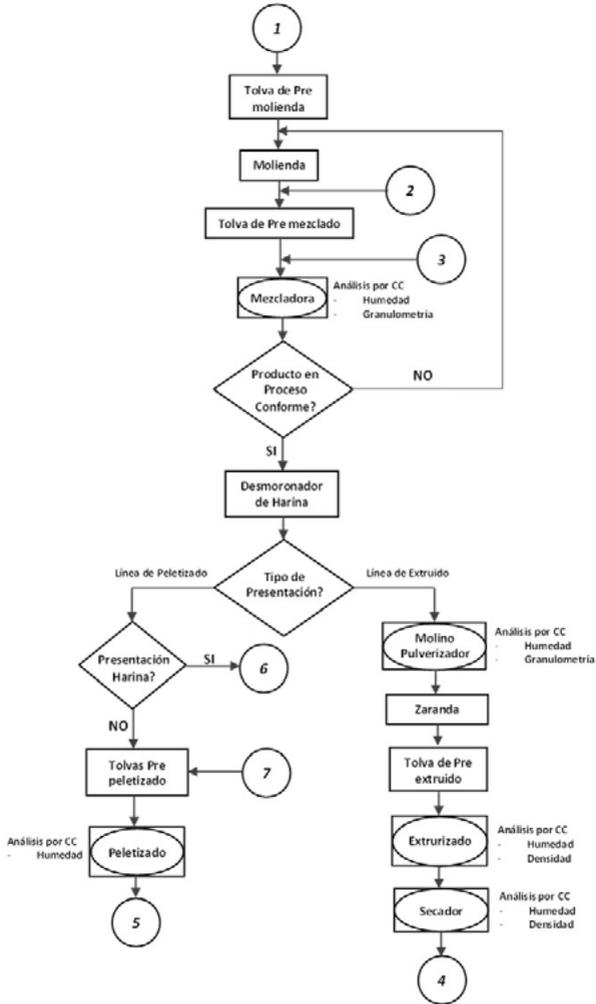


Figura 2 – Diagrama de Flujo: mezcla, selección del producto. Fuente: El autor.

Después del proceso general descrito en la Figura 1, se requiere un segundo diagrama de flujo descrito en la Figura 2, en el cual una vez pesada la materia prima, este pasará por la parte de mezcladora, selección

del producto. Este proceso para por diferentes molinos para un análisis de las condiciones físicas del producto antes del empaque final, puesto que requiere de una certificación de calidad, supervisada por los entes reguladores del país, para de esta manera garantizar la alimentación de los diferentes animales según sea el caso de cada cliente. (Ales, 2015)

En la Figura 3 se describe el diagrama de flujo del proceso final, puesto que después de pasar por la parte de pesajes, selección, distribución, llegamos al empaque final, para revisión, almacenaje y transporte final al cliente, entonces el control PID está concentrado en el producto terminado, dando paso positivo o negativo para la presentación final.

Teniendo determinado nuestros diagramas de flujos, realizamos tipo de control PID, el cual significa que tenemos la parte “P, proporcional”, será una constante del error de retroalimentación, la parte “D, derivativa”, que es la derivada del error, quiere decir que se hace más curva, en consecuencias más lenta, y la parte “I, integral” que es la integral del error, para llegar y mantener el valor deseado de control, dando un sobre impulso máximo, que es la integral de la suma de todos los errores (Automation, Software DriveTools SP, 2012). En la Figura 4, se describe el diagrama de bloques para este tipo de proceso.

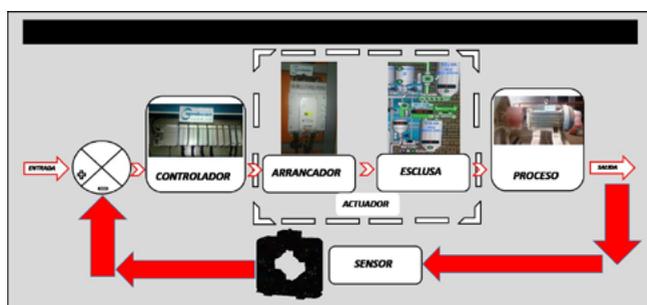


Figura 4 - Diagrama de Boques del proceso de automático de control Fuente: El autor

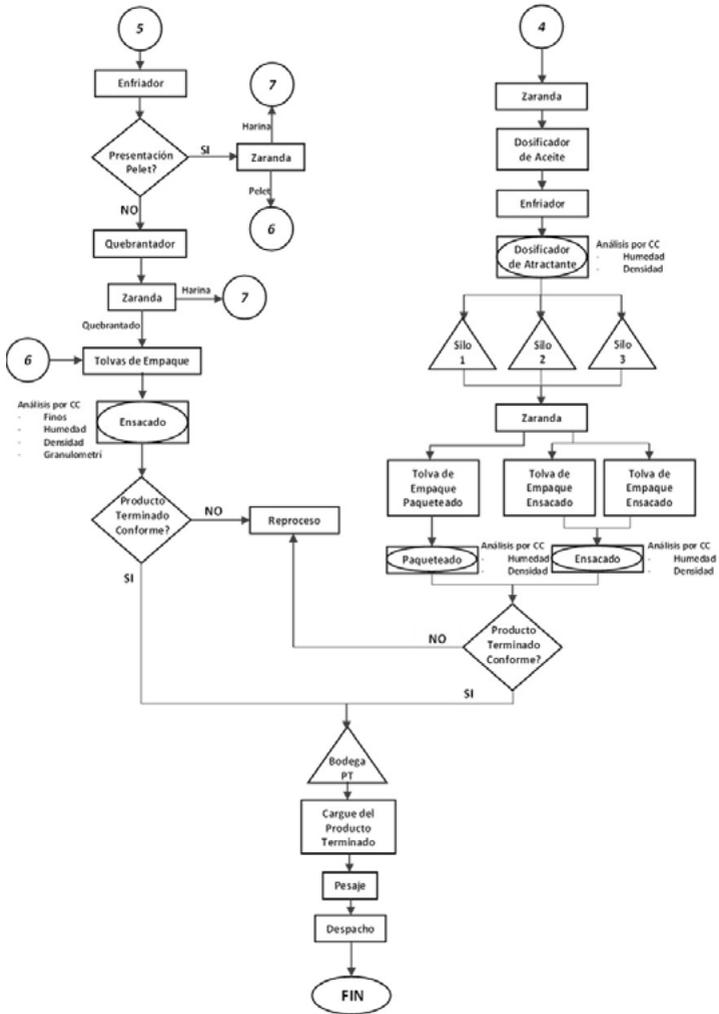


Figura 3 – Diagrama de Flujo, revisión final, empaque y almacenaje Fuente: El autor

En la Figura 5, 6, 7 y 8 se muestran los elementos activos reales de alimentación eléctrica, almacenaje y transporte de la empre-

sa molinera a ser automatizada.

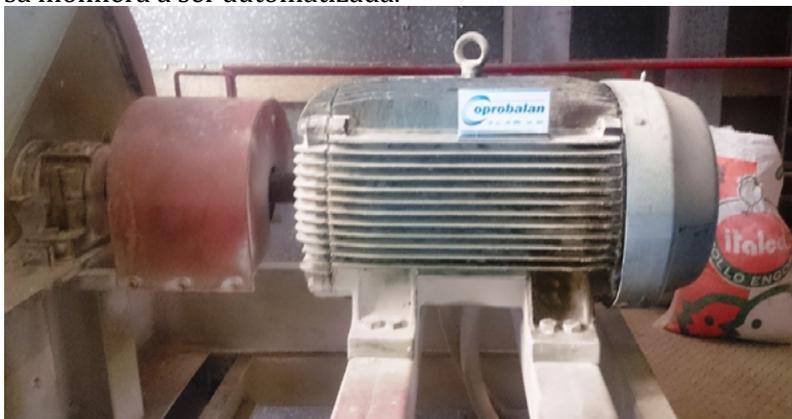


Figura 5 – Motor de 200 HP de alimentación eléctrica para transporte y almacenaje. Fuente: Empresa Molinera “COPROBALAN”.



Figura 6 - Tolva de Almacén de materia prima para alimentos balanceados.

Fuente: Empresa Molinera "COPROBALAN".

Figura 7 - Ducto de transporte para selección de materia prima procesada

Fuente: Empresa Molinera "COPROBALAN".



Figura 8 - Ducto de transporte para selección y distribución de materia prima procesada. Fuente: Empresa Molinera "COPROBALAN".

El control automático, la parte de control eléctrica-electrónica se realizó mediante: controladores lógicos programables "PLC" de la marca Allen Bradley modelo SMC-Flex 150 F317, debido que estos cuentan con una robustez en los equipos de control en lo concerniente al Hardware y un sistema de Software muy amigable de monitoreo, para supervisión y control del proceso de la planta molinera. En la Figura 9 se muestra la pantalla de visualización de control. (Corporation., N. I., Control de Lazo Cerrado, 2014)



Figura 9 – Pantalla de Visualización para monitoreo, supervisión y control
Fuente: Empresa Molinera “COPROBALAN”.

El Software de control del tipo “Sistema de Adquisición de Datos” modelo SCADA, sirve para la supervisión en tiempo real de todo el proceso de la planta molinera. En la Figura 10 se encuentra el modelo real instalado en la empresa, el cual tiene las entradas y salidas de actuadores y sensores para las respectivas aplicaciones. (COPADATA, 2014)



Figura 10 – Pantalla de Visualización para monitoreo, supervisión y control
Fuente: Empresa Molinera “COPROBALAN”.

Conclusiones

1. Con este sistema de automatización se logra cumplir con el

proceso, almacenaje, selección, distribución, empaquetamiento y entrega del producto final de alimentos balanceados a los diferentes clientes de manera confiable y garantizada.

2. El sistema PID de control automático implementado en la empresa molinera “COPROBALAN” en la ciudad de Manta en el Ecuador, permite extender el tiempo de vida de los equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos involucrados en el proceso de: recepción de materia prima y pesaje, descarga y almacenamiento en tolvas, limpiados de granos, dosificación, molienda, pesado de pre-mezclas, peletizado (rodillo), empaque, pulverizador, secador, dosificador de aceite, enfriador, empaque y despacho.

3. Este sistema de control permite ganancias en la producción de la materia prima de productos balanceados, en el ahorro de energía eléctrica y en la hora-hombre, como describe la Tabla 1.

Tabla 1 – Cuadro comparativo anual de costos y presupuestos.

<i>Costo vs beneficio del sistema PID durante el periodo de un año.</i>				
<i>Meses.</i>	<i>Kw ahorrados</i>	<i>Costo por cada Kw.</i>	<i>Ahorro mensual en \$.</i>	<i>Pago de la inversión según ganancias mensuales.</i>
Costo total de la inversión para modificar el PID				\$ 5.250,00
Enero.	6582,58	0,09	\$ 592,43	-\$ 4.657,57
Febrero.	5641,05	0,09	\$ 507,69	-\$ 4.149,87
Marzo.	6179,55	0,09	\$ 556,16	-\$ 3.593,71
Abril.	6040,73	0,09	\$ 543,67	-\$ 3.050,05
Mayo.	4848,86	0,09	\$ 436,40	-\$ 2.613,65
Junio.	5552,50	0,09	\$ 499,72	-\$ 2.113,93
Julio.	7967,36	0,09	\$ 717,06	-\$ 1.396,86
Agosto.	8209,08	0,09	\$ 738,82	-\$ 658,05
Septiembre	6445,21	0,09	\$ 580,07	-\$ 77,98
Octubre.	6895,15	0,09	\$ 620,56	\$ 542,59
Noviembre	5834,91	0,09	\$ 525,14	\$ 1.067,73
Diciembre.	6674,96	0,09	\$ 600,75	\$ 1.668,47
Total:	76871,94	0,09	\$ 6.918,47	\$ 1.668,47
Ahorro en mano de obra si se da un tercer turno (24 H)				\$ 17.568,00

Fuente: El Autor.

Bibliografía

- Ales, I. (2015). *Industrias Ales*. Recuperado de <http://www.ales.com.ec/>
- Automation, R. (2012). *Software DriveTools SP*. Recuperado de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Drives/Software/9303-DriveTools-SP>
- COPADATA. (2014). *Interfaz hombre-máquina*. Recuperado de <http://www.copadata.com/es/productos/product-features/interfaz-hombre-maquina-hmi.html>
- Corporation, N. I. (2014). *Control de Lazo Cerrado*. Recuperado de <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/control.htm>

APLICACIÓN DE SOFTWARE DE MONITOREO Y REGISTRO DE ENERGÍA COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA ATUNERA

Raúl Villavicencio Mejía

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Eléctrico.

Correo: raul.villavicencio@uleam.edu.ec

Milton Moreano Alvarado

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Eléctrico y Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Correo: milton.moreano@uleam.edu.ec.

Edwin Ponce Minaya

Coordinador y Docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ingeniero Eléctrico con un Master en Administración de Empresas y un Magister en Gestión Ambiental por la ULEAM – Ecuador.

correo electrónico: edpomi3121@gmail.com

José Iván Gutiérrez Lino

Estudiante Egresado de Ingeniería Eléctrica. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: ivogutierrezl@hotmail.com

Resumen

El propósito del presente trabajo es demostrar la contribución en la eficiencia energética, utilizando software de monitoreo y registro de energía denominado Sentron Powermanager, el sistema permite crear informes predefinidos que facilitan la introducción a un sistema de

gestión de energía, además entrega información del compartimento de la red eléctrica lo que nos ayuda a prevenir fallas que provoquen interrupciones parciales o totales en procesos críticos de industrias, el software está diseñado para pequeñas y medianas empresas desde una aplicación simple y estándar, hasta una solución completamente flexible. Para abordar este tema tomaremos al sector industrial atunero del cantón Manta como caso de estudio evaluando los diferentes actores que se deben considerar en la gestión energética por medio del uso de estrategias de gestión, sistemas de supervisión y control (*Sentron Powermanager*) y nuevas tecnologías.

Palabras claves: gestión energética, eficiencia energética, industria.

APPLICATION OF MONITORING AND ENERGY REGISTRATION SOFTWARE AS AN ENERGY MANAGEMENT TOOL IN THE TUNA INDUSTRY

Abstract

The purpose of this paper is to demonstrate the contribution in energy efficiency, using energy monitoring and recording software called *Sentron Powermanager*; the system allows to create predefined reports that facilitate the introduction to an energy management system, and also provides information from the energy compartment. the electrical network which helps us to prevent failures that cause partial or total interruptions in critical processes of industries, the software is designed for small and medium enterprises from a simple and standard application, to a completely flexible solution. To address this issue we will take the tuna industrial sector of the Manta canton as a case study, evaluating the different actors that should be considered in energy management through the use of management strategies, monitoring and control systems (*Sentron Powermanager*) and new technologies.

Introducción

En los últimos años la automatización de los procesos industriales y el aprovechamiento efectivo de la energía ha incrementado el interés de las industrias en ser energéticamente eficientes, utilizar un sistema que permita monitorear y registrar la energía es muy importante para el buen funcionamiento no solo de las instalaciones industriales, sino también en edificios comerciales, residenciales, universidades, hospitales, entre otros. Vigilar el consumo de energía eléctrica en la industria por medio de software de monitorización y registro de energía brinda beneficios en diversos niveles como: ahorro de costos a través de un consumo optimizado, crea informes del comportamiento de la red eléctrica lo que nos ayuda a prevenir fallas que provoquen interrupciones en las diferentes áreas de procesos para la industria.

La aplicación de nuevas tecnologías hace que la industria deba ser innovadora para mejorar sus procesos, muchas empresas ven a los Sistemas de Gestión de Energía como un gasto, y no como una inversión rentable que tarde o temprano deberán realizar, el propósito de un sistema de gestión es establecer los métodos y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo. También, la aplicación del sistema tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía y otros impactos ambientales relacionados. Siendo así, las industrias atuneras de la ciudad de Manta provincia de Manabí han tratado de mantenerse en un proceso de mejoramiento referente a la tecnología y equipamiento, en la actualidad las empresas atuneras en su mayoría cuentan con medidores de energía eléctrica instalados estratégicamente en sus diferentes áreas de proceso, estos captan más de 50 magnitudes eléctricas tales como: tensión, intensidad, frecuencia, factor de potencia, simetría, THD (distorsión de tercera armónica) y valores de la energía eléctrica, pero no es suficiente tener estos equipos

instalados, es necesario implementar directrices encaminadas a crear soluciones en lo que se refiere a procesos de gestión energética.

El software de monitorización y registro de energía denominado Sentron Powermanager, es una solución que puede integrar la medición de electricidad y otros insumos como agua, aire, gas y vapor, conociendo la incidencia que tienen las diferentes variables que determinan el comportamiento energético de la industria, se podrá fortalecer aquellos factores favorables y minimizar los que sean desfavorables, para mejorar el desempeño energético y generar conocimiento para el diseño de nuevas tecnologías; participando de los principios de ahorro de recursos y protección del medio ambiente. La energía es un factor de gran relevancia en el desarrollo económico de un país y cada día se consumen grandes cantidades de energía en todos los ámbitos de la sociedad. La industria tiene gran responsabilidad en las emisiones de CO₂ que se generan en la tierra, además de ser una de las mayores consumidoras de energía. (Sevilleja, 2011, p.5)

Metodología para aplicar herramienta de gestión energética

Rosero, Téllez, & Prias (2013) refieren: la operación apropiada de la estructura convencional de una empresa, requiere la interacción de diferentes actores, que con su comportamiento individual y colectivo pueden convertir a la empresa en exitosa. Cada persona y eje de acción que constituye la empresa debe estar engranado dentro de la estructura de las actividades diarias, e igualmente por medio de los indicadores de gestión del plan operativo y del plan de acción y estratégico de la empresa. Esto permite que todos los actores funcionen como una única empresa, tal como se muestra en la figura 1



Fig 1 Estructura convencional de empresa. Fuente: www.revistas.udistrital.edu

El reto fundamental de este trabajo es poder integrar la gestión energética en todos los procesos de las actividades industriales. Estos procesos son realizados por el personal operativo y los jefes de área, quienes deben ser capacitados y sensibilizados acerca de los beneficios y oportunidades de mejora que se asocian a la utilización de diversos sistemas entre ellos el monitoreo y registro de energía.

Para poder comenzar a implementar los componentes anteriores en el sistema de gestión, es importante evaluar las inversiones, los costos y la producción final que se obtiene durante un periodo planificado, como se muestra en la figura 2.



Fig 2 Integración de gestión energética en empresa. Fuente: www.revistas.udistrital.edu

Rosero, Téllez, & Prias (2013) afirman: los resultados de gestión energética podrían evaluar la gestión humana, la productividad, la calidad de proceso y la sostenibilidad financiera de la industria. Estos indicadores, a su vez, mostrarían el avance logrado en la implementación de la gestión energética. Para esta evaluación, es necesario introducir un sistema de medición inteligente, sistemas de comunicación y adquisición de información en tiempo real, además de técnicas de toma de decisión que conlleven la operación normal del proceso para que la evaluación de la gestión energética pueda ser optimizada o modificada. Estos equipos son sistemas de medida avanzada que incorporan nuevas tecnologías de acceso a la información y están integrados a las redes eléctricas inteligentes.

Los sistemas de medición inteligentes facilitan el cumplimiento de los requerimientos de registro, integración de información, supervisión, reporte y sistema de toma de decisión en tiempo real de los procesos industriales. Esta importante característica hace posible la implementación real de un sistema eficiente de

gestión energética en cualquier sector eléctrico industrial. Un ejemplo típico se muestra en la figura 3, donde se pueden observar las características del sistema de medición inteligente requeridas dentro de un proceso industrial integrado a un smart grid^[1] y al sistema de potencia eléctrica. Es importante resaltar los requerimientos de medición y tipos de mediciones necesarias para poder suplir todos los requerimientos del proceso industrial eléctrico.

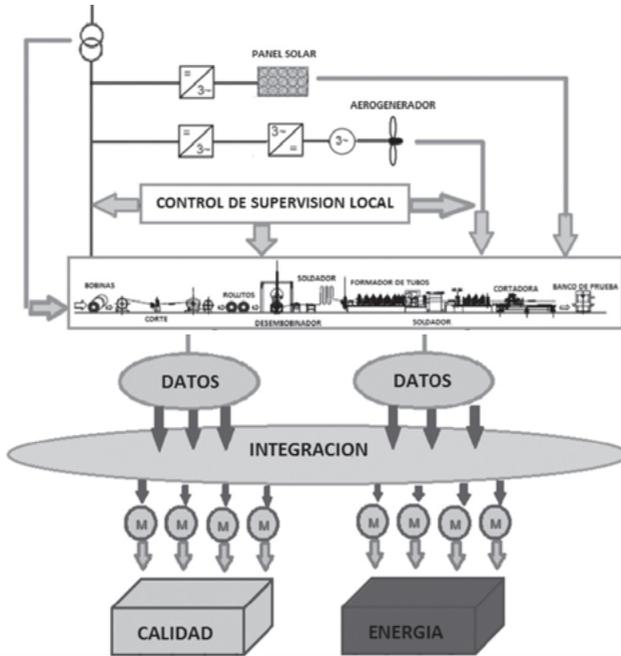


Fig 3 Esquema de diseño de proceso y equipos.

Fuente: www.revistas.udistrital.edu

[1] Redes inteligentes o smart grids son un conjunto de nuevas tecnologías y funcionalidades que dan respuesta a las necesidades actuales en la distribución de la electricidad.

La estrategia de medición, procesamiento, transmisión de información, concentración de datos y toma de decisión, es la plataforma única de gestión energética que integra todos los aspectos económicos, técnicos, financieros, ambientales y energéticos mediante indicadores de desempeño (KPI)^[2] para el seguimiento y control del proceso.

Software utilizado

Hernández (2015) define que: “El software SENTRON powermanager es utilizado para adquirir, monitorear, evaluar presentar y almacenar datos relevantes de la energía eléctrica tomados de medidores de energía o cualquier otro equipo que sea comunicable en Modbus” (p.34). Esta herramienta crea de forma rápida la base para un sistema de gestión de energía acorde a la ISO 5001, con una inversión inicial mínima gracias a tratarse de un sistema escalable. Los flujos de potencia se vuelven transparentes, permitiendo identificar potenciales ocultos de ahorro y optimización.

El software de monitoreo de energía ofrece escalabilidad, plantillas de informes y puntos de medición virtuales para calcular las características específicas requeridas por la industria. Otra función innovadora es el monitoreo de carga, que se puede utilizar para controlar los límites de energía predefinidos durante períodos de tiempo configurables. Si los valores límites se están excediendo, el sistema permitiría conmutar y/o disparar remotamente a los interruptores.

Sentron POWERMANAGER es un software de administración de energía basado en PC cuya función es identificar áreas potenciales de ahorro, reducción de costos por consumo de energía eléctrica y

2 KPI (*Indicadores clave de desempeño*) consisten en métricas que nos ayudan a medir y a cuantificar el rendimiento del progreso en función de unas metas y objetivos planteados para las distintas actividades que llevemos a cabo dentro de nuestra empresa.

otros servicios como agua y gas, así como evaluar la calidad y uso de la energía eléctrica, el software está diseñado para pequeñas y medianas empresas desde una aplicación simple y estándar, hasta una solución completamente flexible.

Este software ofrece:

- Obtención, control, evaluación y entrega de datos
- Archiva datos de energía obtenidos por los equipos de medición SENTRON PAC 3100/3200/4200, interruptores SENTRON 3WL/3VL y cualquier equipo de detección con comunicación Modbus.
- Sistema de Señalización
- Administración de Usuarios
- Centro de Reporte de Costos

El software de monitorización de energía POWERMANAGER es escalable y se puede adaptar de forma flexible a las necesidades del proyecto, la parte fundamental de esta herramienta de gestión de energía es la configuración del sistema, esto permitirá la operación y monitoreo de clientes Windows o web. Seguido de un servidor de procesamiento el cual podrá visualizar, monitorear, almacenar y archivar los datos tomados de los medidores de energía.

Se procede a instalar los medidores de energía con comunicación modbus TCP/IP (7KM PAC3200, 7KM PAC4200), los mismos servirán de Gateway^[3] o puerta de enlace para poder comunicarse vía modbus con los medidores 7KM PAC3100, interruptores 3WL/3VL y cualquier equipo de detección con comunicación Modbus.

³ Gateway permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.

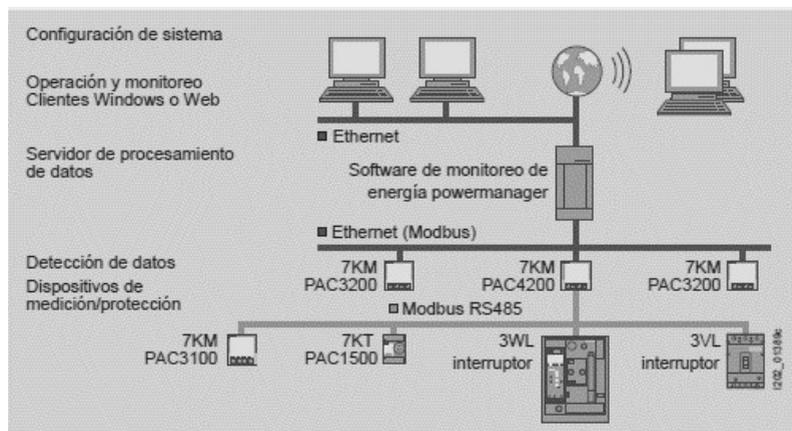


Fig 4: Arquitectura del sistema. Fuente: siemens.com

Resultados

La industria del atún se ha convertido en una de las principales fuentes de ingresos para la economía del país, aportando con, aproximadamente, el 65,48% de la generación de divisas del sector pesquero (2010 - 2017). Representó el 8,71% de las exportaciones no petroleras del país durante el mismo período (para este cálculo se tomó en cuenta al atún en conserva y lomos, 1604.14 y 1604.20, respectivamente). (COMEX, 2017)

En la revisión de empresas del sector industrial pesquero de la ciudad de Manta para la aplicación de este sistema, se escogió a la empresa TECOPECA, industria atunera ubicada en el cantón Jaramijó de la provincia de Manabí. Esta planta cuenta con amplias y funcionales salas de proceso, con capacidad de: 80tm/día en túneles de congelación, 23000tm de almacenamiento de materias prima y 1600tm de almacenamiento de productos finales congelados, así también grandes bodegas y salas industriales para sus áreas de conserva; soportadas con maquinaria y equipos de tecnología de punta en su mayoría eléctricos. En la figura 5 se muestra un ejemplo de áreas de procesos de la industria.

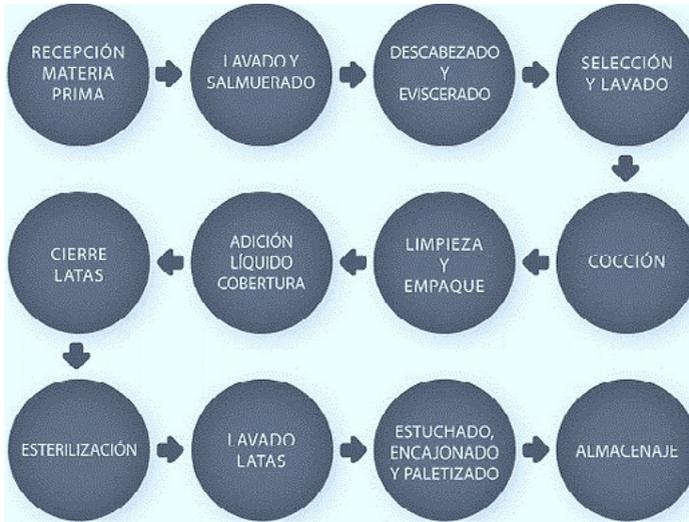


Fig 5 Áreas de procesos de industria Atunera. Elaborado por: el autor.

Entre las diferentes variables o magnitudes eléctricas que influyen en el consumo energético se presentan a continuación las más importantes, que han sido monitoreadas y registradas en el software en las áreas de compresores de climatización Chillroom (recepción de materia prima), conservas (cierres de latas, cocción, esterilización) y compresores túneles de congelación (producto terminado almacenaje), los datos que ha contribuido la herramienta de monitorización y registro de energía eléctrica Sentron Powermanager en la industria alimenticia Tecopesca, fueron sometidos a un análisis de consumo energético para identificar estrategias de ahorros.

Las magnitudes medidas y registradas corresponden al periodo de la semana comprendida desde el día lunes 11 hasta el domingo 17 de diciembre del año 2017, estos son los consumos de energía y costos de energía de las 3 principales áreas de: compresores cámaras de mantenimiento Chillroom, conservas y túneles de congelación.

El diagrama de la figura 6, muestra que la semana comprendida del 11 al 17 de diciembre de 2017 Tecopesca presentó un consumo de energía de 19.315,80 kWh que corresponde en consumo de costes a 1.642,45 dólares americanos, se puede observar que el mayor consumo corresponde en el periodo de la demanda base (22:00 a 08:00), consumir energía en este periodo de demanda, brinda beneficios de reducción de costos de la energía eléctrica, de esta manera el ARCONEL^[4] busca premiar las acciones de eficiencia energética desarrolladas por la Industria.

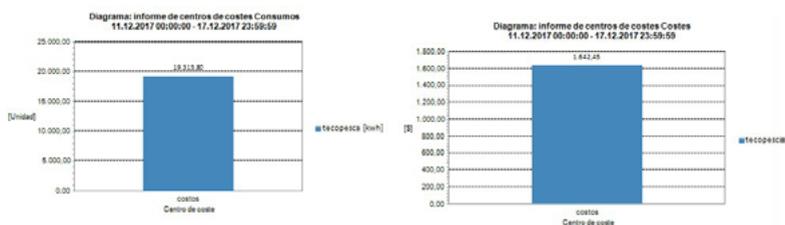


Fig 6 Informe de consumo y costo energético área de compresores cámara de mantenimiento. Elaborado por: el autor

El área de conservas posee un consumo energético de 19.102,38 kWh que corresponde en facturación eléctrica a 1.622,60 dólares americanos como lo muestra la figura 7, en el análisis de la tabla de datos almacenada del área de conservas, se logró identificar que el mayor consumo eléctrico está en el periodo de la demanda punta corresponde a las (18:00 a 22:00), en este periodo es donde la tarifa eléctrica se encuentra en su mayor aumento y por ende no se está realizando un ahorro energético.

4 La Agencia de Control y Regulación de Electricidad (ARCONEL), antes CONELEC, es el ente regulador y controlador, a través del cual el Estado ecuatoriano delega las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, a empresas concesionarias.

CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS



Fig 7 Informe de consumo y costo energético área de conservas. Elaborado por: el autor.

Los compresores de los túneles de congelación poseen un consumo energético de 36.542,44 kWh correspondiente a 3.217,71 dólares americanos en facturación eléctrica, en el análisis se pudo determinar que al igual que el área de conservas el mayor consumo eléctrico está en el periodo de la demanda punta que corresponde a las (18:00 a 22:00), en este periodo es donde la tarifa eléctrica se encuentra en su mayor aumento y por ende no se está realizando un ahorro energético.

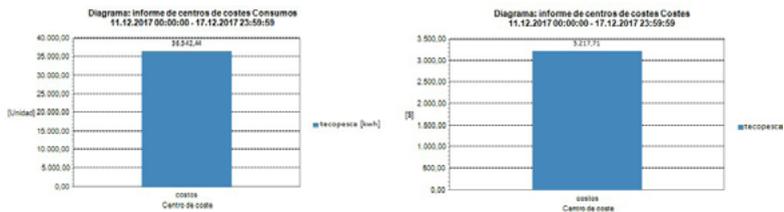


Fig 8 Informe de consumo y costo energético área de compresores túneles de congelación. Elaborado por: el autor.

TECOPESCA posee planillas de consumo eléctrico e informes de analizadores de energía, en sus diferentes áreas de proceso, estos documentos han permitido a la gerencia de mantenimiento determinar cuáles son las áreas de mayor consumo y así implementar medidores de energía eléctrica para medición de los valores máximos, mínimos y

medios de magnitudes eléctricas tales como tensiones, intensidades, potencias, frecuencia, factor de potencia entre otros, que permitirán tener un panorama claro del consumo de la energía y de su circulación por la instalación, Se tienen los porcentajes de participación de las áreas de proceso por potencia instalada, los cuales se muestran en la figura 9.

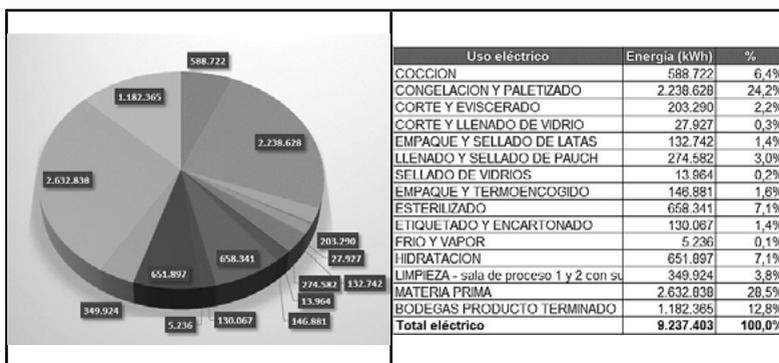


Fig 9 Distribución de consumo de energía eléctrica instalada. Elaborado por: el autor.

El manejo adecuado de la información permite hacer una planeación de la medición requerida, así como también contribuye a ello el procesamiento eficaz de la información que permita alimentar los indicadores energéticos de la empresa y que ayudan a obtener elementos de juicio para la toma de decisiones estratégicas. Uno de los indicadores principales es el gráfico de dispersión energía vs producción, ya que permite visualizar la variación de consumos energéticos con respecto a variaciones de la producción, determinar su correlación, cuantificar el valor de la energía no asociada a la producción y estimar potenciales de ahorro. En el caso de la producción de atún, se dispone de la información mensual de energía eléctrica total consumida (kWh) vs producción total (kg), se obtiene el

grafico mostrado en la figura 10.

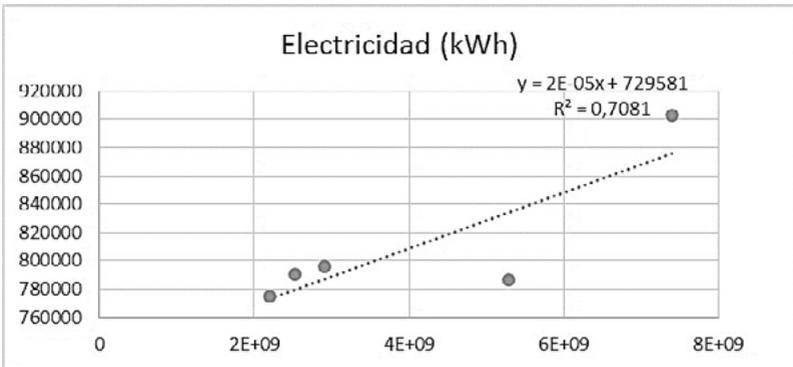


Fig 10 Dispersión energía vs producción. Elaborado por: el autor.

Se puede observar que la nube de puntos es dispersa y, por lo tanto, el coeficiente de correlación es bajo. La gráfica podría sugerir un valor alto de energía no asociada a la producción y una variabilidad relativamente alta del consumo de energía con respecto a la producción (valor de la pendiente), entre otros factores.

En la tabla 1 se puede ver un cuadro comparativo de la cantidad de información registrada en la industria.

Tabla 1 Información registrada en la Industria. Elaborado por: el autor.

Fecha	MATERIA PRIMA (Kg)	Electricidad (kWh)
ago-17	2.909.845.000	796.229
sep-17	2.519.594.000	790.386
oct-17	5.290.760.000	786.408
nov-17	7.404.179.000	903.008
dic-17	2.192.314.000	774.618

Conclusiones

1. Implementar una herramienta de gestión de energía como el Sentron Powermanager representa para el sector industrial, reducir significativamente los costos de operación en equipos eléctricos, reducción de costos en la facturación eléctrica, uso eficiente de la energía eléctrica especialmente en áreas de alto consumo.

2. Con el software de gestión Sentron Powermanager se detectan todos los valores medidos para optimizar el consumo de energía y su consecuente reducción de costos. Esto incluye los valores energéticos y las características eléctricas como corriente, tensión, factor de potencia entre otros.

3. Los actores más relevantes dentro de los procesos de gestión son la motivación de las personas, la integración gradual de los sistemas de gestión de mejoramiento continuo en la productividad del proceso, y la inclusión de sistemas de medida inteligentes en los procesos de toma de decisión.

Bibliografía

Hernandez, R. (2015). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/8570>

Ministerio de Comercio Exterior. (2017). Recuperado de <http://www.comercioexterior.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Reporte-del-sector-atunero.pdf>

PCE. (2016). PCE Iberica S.L. Recuperado de <http://www.pce-iberica.es/hoja-datos/hoja-datos-pac3100.pdf>

PCE Iberica. (2016). Recuperado de <http://www.pce-iberica.es/hoja-datos/hoja-datos-pac4200.pdf>

Rosero, J., Téllez, S., & Prias, O. (2013). Gestión energética integral en procesos industriales. visión electrónica, 10. Recuperado de

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/5523/7236#fig1>

Sevilleja, D. (21 de 12 de 2011). Recuperado de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13678/PFC_Diego_Sevilleja.pdf

Siemens. (2010). Recuperado de http://w5.siemens.com/spain/web/es/ic/building_technologies/sp_baja_tension/analizadores_sentrón/SENTRON_PowerManager/Documents/Sentrón_Powermanager_Folleto%20ESP%20Mayo10.pdf

Siemens. (07 de 03 de 2017). Siemens Ecuador. Recuperado de www.setams.com.ar/catalogos/category/56-baja-tension.html?download=297:baja...

Siemens SENTRON. (2017). Siemens. Recuperado de http://w5.siemens.com/spain/web/es/ic/building_technologies/sp_baja_tension/analizadores_sentrón/sentrónpac3100/pages/pac3100.asp

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE AIRE CON TECNOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE CON AGUA DE MAR

Juan Luis Rodríguez Olivera.

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ingeniero Mecánico.
Doctor en Ciencias Técnicas. CP130802, teléfono 0990492565,
jlro1961@yahoo.com.mx

Mercedes Alemán García.

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ingeniera Mecánica.
Doctora en Ciencias Técnicas. CP130802, teléfono 0987377464,
maleman1960@yahoo.es

Christian Adrián Yugcha Macías.

Estudiante. Facultad de Ingeniería. Carrera Mecánica Naval. Universidad
Laica Eloy Alfaro de Manabí. Dirección: Barrio Jocay calle J14 entre J1
y J3. Cel.: 0969362034.

e-mail: yugcha_94@hotmail.com

Cristhian Antonio Párraga Chila.

Estudiante. Facultad de Ingeniería. Carrera Mecánica Naval. Universidad
Laica Eloy Alfaro de Manabí. Dirección: Avenida 17 entre calle 15 y 16.
Manta. Cel.: 0968039539

e-mail: crismanta1@hotmail.com

Resumen

Se analiza la necesidad de utilización de sistemas de aire acondicionado y su incidencia marcada en los consumos de energía en el sector residencial y turístico. Se señala la necesidad de analizar sistemas alternativos al sistema tradicional de compresión de vapor y más eficientes, tales como los de Aire Acondicionado con Agua de Mar, con el fin de disminuir el

impacto económico y ambiental. Se realiza un balance energético y económico de una propuesta de sustitución total o parcial de un sistema de compresión de vapor para una capacidad de refrigeración de 752 TR en las condiciones de las costas en la ciudad de Manta y sus alrededores, analizando los costos asociados a la batimetría de la zona. Se determina que no son viables los proyectos en los escenarios seleccionados por el alto costo del sistema de agua fría profunda dado por la longitud de tubería necesaria. Se demuestra que aumentado la capacidad de refrigeración se reduce el tiempo de recuperación de la inversión.

Palabras claves: Climatización centralizada, aire acondicionado, agua fría.

STUDY OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM WITH SEA WATER TECHNOLOGY

Abstract

The need to use air conditioning systems in residential and hotel areas is analyzed to achieve the comfort of its occupants and its marked impact on energy consumption in this sector. It is pointed out the need to analyze alternative systems to the traditional vapor compression system and more efficient, such as Sea Water Air Conditioning (SWAC), in order to reduce the economic and environmental impact.

This study makes an energy and economic balance of a proposal of total or partial replacement of a steam compression system for a cooling capacity of 752 TR in the coastal conditions in the city of Manta and its surroundings, analyzing the costs associated with the bathymetry of the area. It is determined that the projects in the selected scenarios are not viable because of the high cost of the deep cold water system given by the length of pipe required. It is shown that increased cooling capacity reduces the recovery time of the investment.

Keywords: Centralized air conditioning, air conditioning, cool water.

Introducción

Debido al clima, en Ecuador el consumo eléctrico de sistemas convencionales de aire acondicionado puede ser alto, el mismo puede llegar a representar más del 60% del consumo total (CAF, 2015). En este contexto, el estudio de alternativas para reducir los costos de electricidad por concepto de climatización de grandes instalaciones como hoteles y zonas residenciales, es importante.

Ecuador es un país donde la industria turística es una actividad fundamental para el desarrollo económico y social, y esta se encuentra en constante crecimiento, no obstante, las instalaciones tales como grandes hoteles requieren de altos suministros de energía. En su monografía Landa & Delgado (2007) afirma que, en un edificio de grandes dimensiones como los hoteles en climas tropicales y subtropicales, el aire acondicionado representa la demanda energética principal. Una habitación del hotel, por ejemplo, requiere entre de 0.75 a 1.0 tonelada de refrigeración (TR) para acondicionamiento del aire. La demanda eléctrica requerida es típicamente 0.9 kW por tonelada de refrigeración. Makai Ocean Engineering (Makai Ocean Engineering, 2004) afirma que el requisito eléctrico para funcionamiento en refrigeración convencional es de 0,9 a 1,3 kW/TR dependiendo de la localización, el sistema de enfriamiento y la edad del sistema, y que una habitación de dimensiones promedio necesita un valor cercano a 1 tonelada de refrigeración.

En este trabajo se estudia la factibilidad de implementación de un sistema Sea Water Air Conditioning (SWAC) en dos escenarios de la zona de la ciudad de Manta, provincia de Manabí, basado en tecnologías de enfriamiento utilizando agua de mar fría profunda en edificaciones con climatización centralizada y proximidad a la costa.

La característica principal de este tipo de sistemas es su bajo costo

de mantenimiento, ya que cuenta con intercambiadores y bombas principalmente, su gasto de energía es considerablemente inferior a un sistema con compresión, sin embargo, necesita una inversión inicial mayor que los sistemas de climatización convencional debido a la necesidad de extraer agua de mar fría profunda.

Desarrollo

En los océanos y mares del mundo, las temperaturas del agua de mar disminuyen con la profundidad. A profundidades superiores a 500 metros, estas temperaturas son equivalentes a las temperaturas del agua refrigerada necesarios para la refrigeración de locales. (DBEDT, 2002)

El sistema SWAC aprovecha las bajas temperaturas de las profundidades marinas para enfriar el agua que circula en los sistemas centralizados de aire acondicionado, así se elimina la alta potencia consumida por los sistemas mecánicos de compresión.

Ryzin y Leraand (1992) plantean que este sistema de aire acondicionado con agua de mar es el más apropiado para proveer edificios múltiples u hoteles en un área costera. Ello no encarece significativamente la instalación y el agua fría se puede distribuir a muchos kilómetros de distancia con un aumento insignificante de su temperatura. Los componentes del aire acondicionado dentro de los locales y edificios son convencionales y no cambiarían para un sistema de climatización con agua de mar. Estos componentes, además, no están expuestos al agua de mar. La economía se explica porque la demanda eléctrica utilizada para la refrigeración (enfriamiento) del agua dulce fresca por compresión de vapor es substituida por la energía eléctrica requerida por las bombas de agua de mar. Dependiendo de la longitud y el tamaño de la tubería y el tamaño del sistema de distribución de agua dulce fresca, el consumo de potencia eléctrica para el bombeo varía cerca del rango de 75 a 150 kW por cada 1000 toneladas de refrigeración, lo que significa un 85%

de ahorro. Todo ello presupone disponer de agua a una temperatura tal que permita mantener el rango de temperaturas del agua fresca o helada de los sistemas de climatización convencionales.

En Ciani (1980), se desataca que los sistemas con agua de mar requieren 80% menos energía que sistemas convencionales, pero el coste de inversión es 60% mayor. El aire acondicionado con agua de mar se recomienda como una alternativa a los sistemas convencionales en las instalaciones contiguas a cuerpos de agua. Otros autores (Elsafy & Saeid, 2008) coinciden en valores de ahorro del 80% del consumo de energía con la utilización de estos sistemas. Cifras de CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, apuntan a que un sistema SWAC usa solo 10% de la energía eléctrica de lo que utiliza un sistema de aire acondicionado convencional. (Sierra, 2015)

En Woodall (1999) se aborda la viabilidad técnica y económica del uso del agua de mar profunda para cubrir la carga de aire acondicionado para hoteles ubicados en los trópicos, destacando que estos sistemas resultan más atractivos económicamente que los de compresión para capacidades de más de 700 toneladas de refrigeración.

La Universidad de Cornell (CHA, 2001) (Energinat, 2014) creó un innovador proyecto de refrigeración utilizando la proximidad al lago "Cayuga" como fuente de enfriamiento del campus. Se instaló una tubería de 1.6 m de diámetro y 4 km de longitud, tomando agua a 4°C a una profundidad de 76.5 m y proporciona hasta 20,000 toneladas de enfriamiento con una reducción del 86% en el uso de energía en comparación con las alternativas de enfriamiento convencionales. Descrito como un proyecto que respalda un futuro sostenible, el sistema redujo la dependencia de Cornell de los combustibles fósiles y ahorra aproximadamente 25 millones de kWh anualmente.

Para el proyecto Tumon Bay (Makai & Paul, 2005), se utiliza una tubería de admisión de agua de mar profunda hasta tres millas de la

costa y una profundidad de 670 metros, para tener agua a 5.8 °C en tierra. Esta agua pasa a través de un intercambiador de calor y enfría un circuito de agua dulce que se entrega a los clientes. A cada cliente se le proporciona agua fresca fría a 6.6 °C.

Funcionamiento de un sistema Sea Water Air Conditioning

El sistema de aire acondicionado con agua de mar consta de dos tuberías principales como se aprecia en la figura 1 b). El primer ducto cumple con la función de extraer agua de mar fría de las profundidades del océano por medio de bombas centrífugas y luego alimentar los intercambiadores de calor. En los intercambiadores (agua-agua) el agua de mar absorbe el calor del agua dulce que ha tomado el calor de los edificios y posteriormente es descargada de nuevo al océano. El segundo ducto consiste en un sistema que lleva agua dulce refrigerada a las distintas edificaciones. (Abhishekanand & Surroop, 2013, p.2)

El agente refrigerante indispensable en este sistema es el agua de mar por sus propiedades físicas. El alto calor específico significa que el agua puede absorber mucho calor para cambiar su temperatura, por lo que es muy valiosa como agente refrigerante en los sistemas de las industrias.

Uno de los puntos importantes de este sistema es la inversión inicial. Si bien es cierto que el costo de inversión es alto en comparación a otros sistemas de enfriamiento, los costos en operación y mantenimiento son relativamente pequeños. En la inversión influye el acceso a fuentes profundas de agua fría y el tamaño del sector a refrigerar. Looney (2007) en su análisis afirma que “la tubería de admisión de agua de mar es uno de los componentes más críticos y el más caro. El acceso razonable a agua de mar de 4 °C a 8 °C es esencial. Generalmente esto se encuentra a profundidades entre 700 y 1000 metros. Un terreno escarpado en alta mar se traduce en un acceso más cercano al agua fría y una tubería costa afuera más corta”. Ello demuestra la importancia de los estudios

batimétricos. Según Makai Ocean Engineering (2004) para que este sistema sea idóneo y justificable económicamente como mínimo debe de trabajar con 1000 toneladas de refrigeración.

Según MOE (s.f.), para un sistema de aire acondicionado centralizado convencional un flujo constante de agua fría circula a través del edificio para absorber el calor que en este se genera o se infiltra. Esta agua enfriada incrementa su temperatura en 5°C desde aproximadamente 7- 8 °C inicialmente regresando a la enfriadora con 12-13°C. El flujo de agua a través del edificio varía con la demanda y su temperatura a la salida de la enfriadora es constante.

Se puede establecer entonces de manera aproximada que para obtener una temperatura de confort se necesita agua a una temperatura no mucho menor a 8°C. Si las condiciones permiten obtener temperaturas aun inferiores a las mencionadas el sistema será más eficiente, caso contrario según los estudios realizados, no sería posible implementar un sistema de aire acondicionado con agua de mar si las temperaturas del agua son superiores, ya que no se alcanzaría el grado de confortación en el área a refrigerar.

Los componentes principales de este sistema de aire acondicionado con agua de mar son: la tubería de suministro de agua de mar, la estación de bombeo, el intercambiador de calor, el sistema de distribución del agua fría a las edificaciones y el conducto de retorno (salida del intercambiador de calor) hacia el mar.



Figura 1.- a) Sistema de aire acondicionado convencional. b) Sistema SWAC con agua de mar (Elaboración propia).

En ciertos casos, es costoso o poco práctico suministrar agua a las bajas temperaturas necesarias para mantener el correcto funcionamiento del sistema, esto se debe probablemente a que la profundidad del océano simplemente no puede estar disponible. A veces es económicamente posible utilizar enfriadores auxiliares para aumentar la refrigeración proporcionada por el agua de mar.

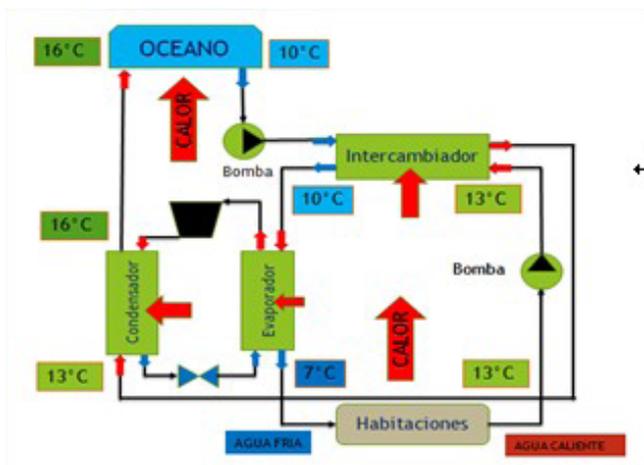


Figura 2.- Sistema de climatización SWAC híbrido (Elaboración propia).

En la Figura 2 se observa el uso de un compresor en el sistema híbrido, el mismo que tiene un consumo de energía eléctrica adicional al utilizado en el sistema no híbrido, dicho sistema es utilizado para enfriar el agua a la temperatura necesaria que se requiere; se destaca que este compresor consume una cantidad de energía eléctrica muy inferior al de los equipos convencionales, ya que se dispondría de una fuente de calor (agua fría antes de su descarga al mar) a mucha menor temperatura, para rechazar el calor extraído por el ciclo (Landa & Delgado, 2007). Esto permite reducir la presión y temperatura en la descarga del compresor (condensador) y el consumo de potencia requerido.

Cálculo de la carga térmica

La carga total frigorífica puede ser definida como la cantidad de calor que debe ser extraída de un determinado espacio por el sistema SWAC para mantener las condiciones deseadas en cualquier momento. Esta capacidad frigorífica máxima se obtiene a partir de la suma de las capacidades nominales de los equipos de climatización:

$$Q = \sum_1^n (N_n * TR_n) Q = \sum_1^n (N_n * TR_n) \quad (1)$$

Donde, Q es capacidad frigorífica máxima en kW; n, los tipos de instalaciones de climatización; Nn, número de equipos de climatización del tipo n y TRn es la capacidad frigorífica individual en TR de los equipos.

En este trabajo se toma como base las especificaciones técnicas del sistema de climatización instalado en el hotel Sail Plaza, el cual es un sistema Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC), ubicado en la ciudad de Manta, Manabí, Ecuador con una capacidad total de refrigeración de 752 TR.

Cálculo de flujo másico de agua de mar fría requerido

La demanda frigorífica se determina como:

$$Q_{A/C} = \dot{m}_1 * cp_1 * \Delta T_1 \quad (2)$$

El flujo de agua de mar se calcula balanceando el intercambiador agua-agua mediante la ecuación 3. El valor de la eficiencia del intercambiador puede ser estimado como 90% según Elsafty & Saeid (2008).

$$\dot{m}_2 * cp_2 * \Delta T_2 * \eta_{HX} = \dot{m}_1 * cp_1 * \Delta T_1 \quad (3)$$

Donde $Q_{A/C}$, es la demanda frigorífica en kW; \dot{m}_1 y \dot{m}_2 , flujos máscicos de agua dulce y de mar en kg/s;

ΔT_1 y ΔT_2 , diferencias de temperatura del agua dulce a la entrada y salida del consumidor y del agua de mar a la entrada y salida del intercambiador en K; Cp_1 y Cp_2 , calores específicos del agua dulce y del agua de mar en kJ/kg K; y η_{HX} es la eficiencia del intercambiador, estimada al 90% según Elsafty & Saeid (2008).

Metodología para la estimación de costos en sistemas SWAC

Makai Ocean Engineering ha desarrollado un método de estimación para proyectos con tuberías de polietileno de alta presión. Los costos de inversión del sistema SWAC tomados en cuenta incluyen la tubería de succión y desagüe de agua de mar, el intercambiador de calor, bomba de agua de mar y bomba de agua enfriada. Dado que es un sistema nuevo y que no existe aún en el país, un margen de contingencia del 20% será añadido para cubrir cualquier elemento omitido o subestimado.

A partir de la base de datos la Compañía Makai se han ajustado modelos para predecir el coste de nuevos proyectos con mejor precisión. (DBEDT, 2002)

La ecuación (4) contiene el modelo de costos de materiales, fabricación, movilización, despliegue, supervisión, entre otros. Esta ecuación es válida para tuberías con diámetros de entre 16 y 63 pulgadas, con un espesor de 3 pulgadas en promedio. (DBEDT, 2002)

$$C_L = 134 * e^{0.03038 * X} \quad (4)$$

Donde C_L , es el costo de tubería de agua de mar en \$/ft y X es el diámetro interno en pulgadas.

El costo del intercambiador se determina por la siguiente ecuación.

$$C_{HX} = 512.89x + 59,625 \quad C_{HX} = 512.89x + 59,625 \quad (5)$$

Donde C_{HX} es el costo del intercambiador de calor en \$ y X es la carga frigorífica total en TR.

La parte más importante del sistema son las bombas para el agua de mar y el agua dulce. Estas bombas están diseñadas con redundancia, su uso es periódico y tendrán mantenimientos regulares. La estimación del sistema SWAC propone que se instalarían tres bombas, dos de las cuales en el modo de operación y la tercera en el modo de espera. (Elsafy & Saeid, 2008)

La potencia requerida para el suministro de agua de mar está determinada por la ecuación.

$$P_{b1} = Q_1 * \rho_1 * g * h_b \quad (6)$$

Donde P_{b1} es la potencia de bombeo de agua de mar en kW; Q_1 es el flujo volumétrico de agua de mar en m³/s; ρ_1 es la densidad del agua de mar en Kg/m³; g es la aceleración gravitacional igual a 9.81 m/s²; h_b es la pérdida por fricción en la tubería en m.

Las pérdidas por fricción en la tubería son calculadas mediante el método de Darcy-Weisbach.

$$h_f = \frac{0.8 * f * l * Q^2}{g * D^5} \quad (7)$$

Siendo f el factor de fricción o coeficiente de resistencia adimensional; l la longitud de la tubería en m; Q el caudal volumétrico en m³/s; D el diámetro de la tubería en m.

El factor de fricción en la tubería puede ser calculado mediante la ecuación de Swamee-Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left[1.49 + \frac{10.58}{\left(\frac{k/D + \frac{5.74}{Re^{0.9}}}{1 + \frac{5.74}{Re^{0.9}}}\right)^2}\right]^2} \quad (8)$$

Donde k es el factor de rugosidad, generalmente 0.0015 para tuberías de polietileno de alta densidad según Elsafy & Saeid (2008); Re es el número de Reynolds.

Si el número de Reynolds es muy grande, se puede simplificar el

segundo fraccionario del paréntesis en el denominador, quedando:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10}\left(\frac{k/D}{8,7}\right)\right]^2} \quad (9)$$

Ecuación de Reynolds para el régimen de flujo.

$$\Re = \frac{4Q}{\pi Dv} \quad (10)$$

Siendo v la viscosidad cinemática del fluido en m^2/s

Una vez determinada la potencia de bombeo, se puede utilizar la fórmula 11 para determinar el costo que varía en función de la potencia en kW.

$$C_{b1} = 6465.5 * P_{b1} + 284,332 \quad C_{b1} = 6465.5 * P_{b1} + 284,332 \quad (11)$$

Donde C_{b1} es el costo de bomba de agua de mar en USD y P_{b1} es la potencia de bombeo en kW.

Se determina el consumo anual de la bomba en MWh como:

$$\text{Consumo energético anual} = \text{Potencia} * \text{horas operativas} * FU \quad (12)$$

Siendo FU el factor de utilización, se recomienda usar un FU del 60%. (Elsafy & Saeid, 2008)

Para determinar la potencia para la bomba de agua dulce se utiliza la misma fórmula (6). Las pérdidas en este caso son debidas al sistema de suministro de agua dulce a las habitaciones.

$$C_{b2} = 464.59 * P_{b2} + 57,903 \quad C_{b2} = 464.59 * P_{b2} + 57,903 \quad (13)$$

Donde C_{b2} es el costo de bomba de agua dulce en USD y P_{b2} es la potencia de bombeo en kW.

El consumo anual energético se calcula usando la formula (12).

Cálculo de la capacidad de equipo auxiliar de enfriamiento en sistema híbrido

Para este estudio se considera una temperatura de 20°C en el local que es una temperatura confortable según el Reglamento de Instalaciones

Térmicas en Edificios (RITE), y una humedad relativa del 60%.

Para el cálculo de la capacidad del compresor primero se necesita conocer la temperatura de evaporación (T_e) y de condensación (T_c), con sus respectivas presiones y el refrigerante a utilizar.

Para los valores del subenfriamiento y el sobrecalentamiento se toman valores de 5°C para el subenfriamiento y entre 5°C y 10°C para el sobrecalentamiento. Para determinar la temperatura de condensación es indispensable seleccionar el salto térmico que es la diferencia entre la temperatura de condensación (T_k) y la que tiene el fluido refrigerador al entrar al condensador, sea esta agua o aire, ya que el agua es tomada a 10°C del océano, y luego en el intercambiador ganaría aproximadamente 3°C , tendríamos 13°C como temperatura estimada a la entrada del condensador.

$$T_k = T_{H_2O} + \Delta T_c \quad (14)$$

Donde, T_k es la temperatura de condensación en $^\circ\text{C}$; T_{H_2O} es la temperatura del agua a la entrada del condensador en $^\circ\text{C}$; ΔT_c es el salto térmico de condensación en $^\circ\text{C}$.

Según Carmona (2009) en condensadores de aire para que la transferencia de calor sea rápida y este elemento tenga unas dimensiones adecuadas, la temperatura de condensación debe ser entre 10°C a 20°C más elevada que la que la temperatura del aire a la entrada.

Así mismo ocurre con los condensadores de agua solo que estos trabajan con saltos térmico de entre 10°C a 17°C , donde cualquier valor dentro de este rango es aceptable para efecto de cálculos.

Un factor muy importante al seleccionar la temperatura de evaporación es el denominado salto térmico de evaporación (ΔT_e) el mismo que se define como la diferencia entre la temperatura del aire que entra al evaporador y la temperatura de evaporación del refrigerante (T_o).

La temperatura a la que entra el aire al evaporador se considera la

temperatura a la que se desea que este la cámara ($T_{cámara}$), siendo así la ecuación de la temperatura de evaporación:

$$= T_{cámara} - \Delta T_e \quad (15)$$

El salto térmico de evaporación influye en los parámetros de humedad relativa dentro de la cámara y del dimensionamiento de evaporador. Siendo así, con la humedad relativa (60%) se selecciona el salto térmico más adecuado, teniendo en cuenta que es un sistema de intercambio forzado, se obtiene un salto térmico de evaporación de 17,5°C aproximadamente. (Enríquez, 2016)

Una vez obtenida la temperatura de evaporación y condensación, se utiliza un software de simulación para graficar el ciclo con el refrigerante R134a para el caso de estudio. Ya definido el diagrama del ciclo, se obtienen datos tales como, la potencia del compresor, el coeficiente de operación, la relación de compresión, caudal másico, caudal volumétrico desplazado, capacidad del condensador, flujo másico del refrigerante y las propiedades termodinámicas en cada punto del ciclo.

Estimación de costos de operación

Con el consumo anual energético de los equipos en USD, se calcula el costo de operación durante un período dado, en este caso un año. Según tabla de tarifa eléctrica de la Agencia de regulación y control de electricidad (ARCONEL, Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016) para el sector comercial.

$$\text{Costo de operación anual} = \text{Consumo energético anual} * \text{Costo energético} \quad (16)$$

Análisis de resultados

La zona de estudio es el sector de Barbasquillo y El Murciélagu. Siendo estos dos los sectores con mayores edificaciones hoteleras y cercanas a las costas de Manta.

Una segunda zona como alternativa a considerar en el estudio es el Sector de Liguiqui, ubicada a 30 Km hacia el sur de Manta sobre la vía “Ruta del Sol”, esta zona no cuenta con edificaciones aptas para la implementación del sistema, pero se analiza un escenario hipotético en base a su batimetría.

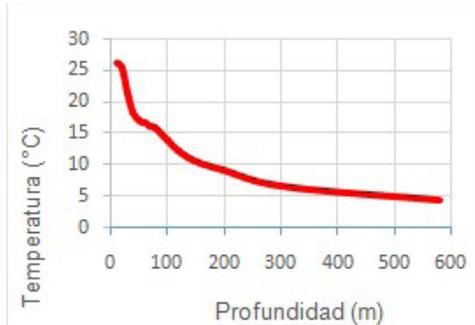


Figura 3.- Perfil de Profundidad-Temperatura estimado para las costas de Manta (Gráfico de autoría propia).

Dentro de las variables físicas de las que depende el estudio de aplicación de un Sistema Seawater Air Conditioning, las condiciones batimétricas son las más críticas, ya que de estas dependen la longitud de las tuberías y por tanto los costes y capacidad de enfriamiento. En la figura 3 se muestran el perfil de temperatura promedio en la zona de la ciudad de Manta durante el año 2016 confeccionado a partir de datos de INOCAR (2017).

Según Landa & Delgado (2007) los valores máximos de temperatura aceptados para los sistemas SWAC son 10°C en promedio (y volviendo al mar 6°C mayor), ya que con temperaturas más altas no se alcanzaría el grado de confortación en el área a climatizar. Analizando los valores en la se observa que el rango de temperaturas necesario para un sistema SWAC simple estaría a casi 400 m de profundidad y la temperatura mínima requerida para un sistema SWAC híbrido (funcionando en conjunto

con un chiller) estaría aproximadamente a 150m de profundidad, y la temperatura de desagüe (16°C) estaría a 80 m aproximadamente.

Además de analizar las temperaturas es mandatorio relacionar estos datos con la distancia de la costa a la que pueden ser encontradas estas profundidades para los escenarios planteados, las distancias calculadas son de 21 Km en el Sector Barbasquillo para alcanzar 150 m de profundidad y 36 Km para alcanzar 500 m de profundidad. Por su parte en el Sector Liguiki la distancia para alcanzar 150 m de profundidad es de 9 Km y para alcanzar 500m es necesaria una distancia de 24.5 Km.

Investigaciones en los sectores designados dieron como resultado que en el sector Liguiki a pesar de contar con las mejores condiciones batimétricas para la aplicación de sistemas SWAC, no existen edificaciones aptas para la implementación de la misma. Por otro lado, en el sector Barbasquillo que tiene una situación geográfica menos ventajosa, si cuenta con hoteles que podrían servir como escenario para el estudio de un sistema SWAC, siendo de estos el más grande el Best Western Premiere Sail Plaza.

Por tanto para fines prácticos en la presente investigación se planteó un escenario hipotético para una instalación con las características del hotel Best Western Premiere Sail Plaza, y la situación geográfica tanto de Barbasquillo como de Liguiki.

Escenario 1: Barbasquillo (21Km, 150m, 10°C / 6Km, 80m, 16°C)

Escenario 2: Liguiki (9Km, 150m, 10°C / 3.5Km, 80m, 16°C)

El hotel se encuentra ubicado en la costa noroeste de Manta en el sector Barbasquillo, a unos 100 metros de la orilla, es una edificación de 12 niveles, cuenta con 200 habitaciones, grandes comedores y salones de eventos.

El hotel cuenta con 65 unidades climatizadoras repartidas entre sus alas de habitaciones, salones de eventos, áreas recreación, comedores, sección de cocina, lobbies, etc. La capacidad frigorífica máxima estimada es de

2644.67 kW. Al tomar la capacidad nominal de los equipos climatizadores para el cálculo de demanda, el valor resultante sería la demanda máxima o pico de la misma, la cual sería 765 toneladas de refrigeración.

Aplicando la ecuación 2 se calcula el flujo másico de agua dulce en 378.97 m³/h y utilizando la ecuación 3 se calcula el flujo de agua de mar en 411.84 m³/h.

Para las tuberías que serán destinadas al transporte del agua desde el fondo marino se necesita un material con cualidades que soporten las condiciones del medio sin degradarse muy rápidamente. Según Elsafty & Saeid (2008) las tuberías de polietileno de alta densidad son la mejor opción debido a sus excelentes ventajas tales como: el polietileno de alta densidad es resistente a la corrosión, tienen un muy bajo coeficiente de conductividad térmica, soporta rangos de velocidad de flujo de 1 a 8 m/s (5m/s recomendados), mientras las de acero hasta 3 m/s, requiere menos potencia de bombeo que el acero, es un material inerte que no contamina el agua y las uniones de la tubería se realizan por calor y formas juntas tan fuertes como la tubería misma.

Existen varios métodos de instalación utilizados para tuberías marinas, según MOE (s.f.), el método más sencillo y eficiente consiste en unir largas secciones de tubería en tierra, estas se llenan de aire o se les coloca boyas, luego son remolcadas a su lugar y se bajan al fondo marino mediante la inundación de sus secciones, esta operación es tan eficiente que puede ser realizada en un solo día.

Según Elsafty & Saeid (2008) la velocidad de flujo recomendada en tuberías de polietileno de alta densidad varía de 1 a 8 m/s para líquidos y hasta 20 m/s para gases filtrados. Sugieren también para efectos de cálculo utilizar una velocidad de 5 m/s basados en otros proyectos similares. En este trabajo se asume una velocidad de 1 m/s. Para determinar las dimensiones de la tubería a partir de la velocidad y caudal se determina el diámetro normalizado de 16 pulgadas.

Costos iniciales totales SWAC

Dado que este tipo sistema es nuevo y no existe en la región, se añadirá un margen de contingencia del 20% (Elsafty & Saeid, 2008) para cubrir cualquier elemento omitido o subestimado. Para el caso de un sistema SWAC urbanizado, los costos iniciales incluirán la inversión necesaria para implementar la red de distribución de agua fría hacia las distintas edificaciones. En las tablas 1 y 2 se muestra los costos de inversión calculados para sistema SWAC en los escenarios establecidos.

Tabla 1.- Costos de inversión (Escenario 1)		Tabla 2.- Costos de inversión (Escenario 2)	
Elemento	Costo (USD)	Elemento	Costo (USD)
Tubería de succión	15 011 047.74	Tubería de succión	6 433 306.17
Tubería de desagüe	4 288 870.78	Tubería de desagüe	2 501 841.89
Intercambiador de calor	252 471.64	Intercambiador de calor	252 471.64
Bomba de agua de mar	1 846 923.82	Bomba de agua de mar	1 609 561.52
Bomba de agua dulce	77 094.84	Bomba de agua dulce	77 094.84
Chiller	236 832.96	Chiller	236 832.96
Margen de contingencia 20%	4 432 648.36	Margen de contingencia 20%	2 222 221.68
Total	26 055 890.14	Total	13 333 330.11

Fuente. Autores

Costos de operación SWAC

Los costos de operación del sistema constan de la energía necesaria para operar las bombas de agua tanto de mar, como dulce y añadiéndole los costos de labor y mantenimiento anuales. En el caso de un sistema

SWAC híbrido, también se tomara en cuenta la energía necesaria para operar el compresor del chiller.

Los costos de mantenimientos son difíciles de cuantificar ya que constan de muchas variables como, edad del equipo, tasas de remuneración local, nivel de sofisticación del resto de los sistemas, etc.

Para solventar este problema Elsafty & Saeid (2008) en su tesis recomiendan utilizar considerar los costos de labor y mantenimiento como el 20% de los costos de operación.

Para el cálculo de costos de operación anuales de cada equipo del sistema SWAC usaremos la ecuación (16).

Tabla 3.- Costos de operación (Escenario 1)

Tabla 4.- Costos de operación (Escenario 2)

Elemento	Costo (USD)	Elemento	Costo (USD)
Bomba de agua de mar	120 676.41	Bomba de agua de mar	102 345.31
Bomba de agua dulce	20 626.51	Bomba de agua dulce	20 626.51
Compresor del chiller	75 953.56	Compresor del chiller	75 953.56
Costos operac. y mtto. 20%	43 451.30	Costos operac. y mtto. 20%	39 785.08
Total	260 707.78	Total	238 710.46

Fuente. Autores

Costos de inversión y de operación para sistemas de compresión de vapor (VCS)

Para obtener datos de un sistema de climatización convencional con torre de enfriamiento (Elsafty & Saeid, 2008) realizan estimaciones

basadas en las indicaciones de Harwell, 1999. Se toma para un sistema convencional el valor capital total es 504 USD/TR de demanda frigorífica para equipos chiller y de compresión de vapor, y 151 USD/TR de demanda frigorífica para equipos de expulsión de calor. El costo de inversión capital se calcula como:

$$\text{CostocapitalVCS} = 752TR * (504 + 151) \text{ USD/TR} = \text{USD.}$$

De manera similar se estiman los costos de operación, en este caso cada elemento tiene un factor que el autor denomina (kWh/TR/año), que son los kilowatts de consumo anual por cada tonelada de capacidad del sistema. Este factor para el sistema de compresión es de 6224 kWh/TR/año, para la bomba de agua de enfriamiento es de 493 kWh/TR/año y para los ventiladores de la torre de enfriamiento es de 392 kWh/TR/año.

$$\text{CostosdeoperacionVCS} = (6224 + 493 + 392) \frac{\text{kWh}}{\text{TR} * \text{Año}} * 752TR * 0.095 \text{ USD/kWh}$$

$$\text{CostosdeoperacionVCS} = 507866.96 \text{ USD/año.}$$

Costos de inversión y de operación para el sistema HVAC del hotel Sail Plaza

Para realizar una comparación del sistema SWAC y el sistema HVAC del hotel Sail Plaza, se toman los datos sobre los costos de inversión del mismo. La inversión inicial del sistema HVAC es 892 331.63 USD.

Los costos de operación se calculan a partir de la potencia utilizada por cada uno de los equipos que conforman el sistema de climatización del hotel, el mismo que resulta en 1309.2 kW, el consumo energético anual es de **6881155.2kWh6881155.2kWh** y el costo de operación anual es de **653709.74653709.74** USD/año

Reducción de emisiones por consumo energético

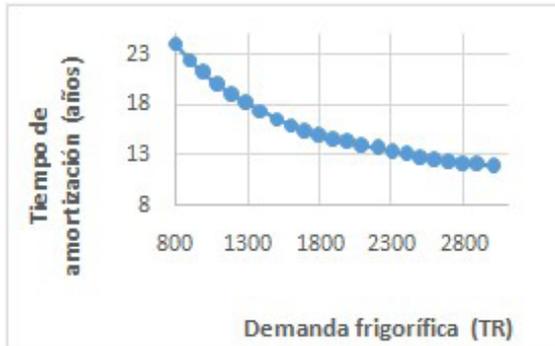


Figura 4.- Análisis de sensibilidad del tiempo de amortización en función de la demanda frigorífica para un sistema SWAC híbrido vs VCS, con tubería de succión de 9 Km. Fuente. Autores.

La reducción de emisiones por consumo energético se debe a la reducción del consumo energético anual de los sistemas a comparar, traducida a toneladas de CO₂, mediante el factor 0.7079 t de CO₂/MWh. Para una capacidad de 752 TR, la emisión del sistema convencional es de 3 784.41 toneladas de CO₂ anuales, las emisiones del sistema SWAC Híbrido es de 1531.78 toneladas de CO₂ anuales, las emisiones del sistema HVAC es de 4 871.17 toneladas de CO₂ anuales.

A partir de estos valores obtenemos que las reducciones de emisiones para cada uno de los escenarios planteados por consumo energético son de 2 252.64 Toneladas de CO₂ anuales introduciendo un sistema SWAC por el sistema VCS y de 3 339.39 Toneladas de CO₂ anuales sustituyendo el sistema HVAC.

Comparación económica y análisis de sensibilidad

Se analiza el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial en base a los ahorros que genera el nuevo sistema anualmente. En otras palabras, cuantos años deben pasar para que el ahorro total equipare a

la diferencia de inversión inicial.

La siguiente tabla compara la diferencia de capital para cada escenario, y su respectivo ahorro por costos de operación al final del año 12 de vida de proyecto.

Tabla 5.- Análisis económico a 12 años de vida de proyecto Fuente. Autores.

Escenario	Lugar de estudio	Diferencia de capital en USD	Ahorro total a 12 años en USD	Viabilidad económica
SWAC-VCS	Barbasquillo	25.563.330,14	3.934.063,90	NO
SWAC-VCS	Liguiqui	12.840.770,11	4.284.198,08	NO
SWAC-HVAC	Barbasquillo	25.163.558,51	6.255.461,94	NO
SWAC-HVAC	Liguiqui	12.440.998,48	6.605.596,13	NO

Se observa que para ninguno de los escenarios planteados se alcanza el tiempo de amortización en un período inferior a 12 años.

Análisis de sensibilidad

Con el fin de determinar el punto donde se alcanza la factibilidad del proyecto, se realiza un análisis de sensibilidad del tiempo de amortización, en función de la variación de la capacidad de refrigeración, ya que los anteriores resultados demostraron que en el escenario 2, Liguiqui, se obtienen resultados mejores, el análisis se hace en base a este escenario.

Este análisis solo es posible realizarlo comparando el sistema SWAC con el sistema convencional VCS, debido a que, para ambos, sus costes de inversión y de operación son estimados con fórmulas y tienen variables dependientes que pueden ser modificadas, con excepción del chiller, cuyo coste fue obtenido de una cotización, sin embargo, al ser tan pequeño en

comparación al resto de valores, no afecta de mayor manera al análisis de sensibilidad.

Según los resultados obtenidos de la Figura, para un sistema SWAC híbrido con tubería de succión de 9 Km, a partir de 2500 Toneladas de refrigeración se logran tiempos de amortización menores a 13 años.

Conclusiones

1. Para los escenarios analizados, con una demanda de 752 toneladas de refrigeración y las condiciones batimétricas descritas. El proyecto no resulta económicamente factible.

2. El alto costo de la longitud de tubería de succión necesaria para extraer agua a 10°C, es el principal factor que encarece la inversión necesaria del proyecto, en los escenarios analizados.

3. La demanda frigorífica tiene mayor influencia en los ahorros por costos de operación, que en el aumento de la inversión inicial y por tanto en escenarios como el de Liguiki al aumentar la demanda frigorífica a 2500 TOR, se obtienen resultados viables.

4. A pesar de que en los escenarios planteados no se alcanza una factibilidad económica, las reducciones de emisiones son por el contrario bastante notables, esto demuestra el potencial que tienen los sistemas SWAC para reducir los consumos y costos energéticos y la mitigación del impacto ambiental.

Bibliografía

- Abhishekanand, A., & Surroop, D. (Diciembre de 2013). Technical and Economic Assessment of Seawater Air. doi:10.7763 / IJCEA.2013.12 V
- ARCONEL. (2016). Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Recuperado de Pliego y Cargos Tarifarios: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-2016-01-02-2016.pdf>
- ARCONEL. (2017). Agencia de regulación y control de electricidad. Recuperado de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estadística-anual-y-multianual-sector-eléctrico-2016.pdf>
- Carmona, J. O. (JULIO de 2009). CSIF. Recuperado de <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/Apuntes/GUIA2.pdf>
- CHA. (2001). Cornell University Lake Source Cooling Project. Recuperado de <http://www.chacompanies.com/projects/cornell-university-lake-source-cooling-project/>
- DBEDT. (2002). Department of Business, Economic Development & Tourism. Recuperado de Sea water district cooling feasibility analysis for the state of Hawaii: <http://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2011/10/Sea-Water-District-Cooling-Feasibility-Analysis-for-the-State-of-Hawaii-2002.pdf>
- Elsafy, A., & Saeid, L. (Julio de 2008). Sea Water Air Conditioning. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/303843226_SWAC
- Energinat. (2014). Optimal Management of Natural Energy Resources for the Benefit of Haiti. Recuperado de <http://www.energinat.com/download/air.shtml>
- Enriquez, F. (Septiembre de 2016). Coolproyect. Recuperado de <http://coolproyect.es/2016/09/25/salto-termico-y-humedad-en-la-camara-frigorifica/>

- INOCAR. (2017). Perfiles de temperatura de Manta 2016. Ecuador.
- Landa, J., & Delgado, Y. (Noviembre de 2007). Centro de estudio de combustión y energía. Recuperado de <http://monografias.umcc.cu/monos/2007/quimec/m07271.pdf>
- Looney, C. M., & Oney, S. (Agosto de 2007). Seawater District Cooling and Lake Source District Cooling. Recuperado de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/254303429_Seawater_District_Cooling_and_Lake_Source_District_Cooling
- Makai & Paul. (Octubre de 2005). A Technical and Economic Feasibility Assessment of a Deep Sea Water District Cooling System at Tumon Bay, Guam. Recuperado de <http://docplayer.net/60329475-A-technical-and-economic-feasibility-assessment-of-a-deep-sea-water-district-cooling-system-at-tumon-bay-guam.html>
- Makai Ocean Engineering. (2004). Seawater air conditioning. Recuperado de <http://www.makai.com/brochures/Seawater%20Air%20Conditioning%20by%20Makai.pdf>
- MOE. (s.f.). Makai Ocean Engineering. Recuperado de <http://www.makai.com/pipelines/ac-pipelines/>
- Ryzin, J. V., & Leraand, T. (Junio de 1992). Air conditioning with deep seawater: a cost-effective alternative. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/309321468_Air_conditioning_with_deep_seawater_a_cost-effective_alternative
- Sierra, A. C. (27 de Octubre 2015). La estrella de Panamá. Recuperado de CAF sugiere enfriamiento con océanos para ahorrar energía: <http://laestrella.com.pa/vida-de-hoy/planeta/sugiere-enfriamiento-oceanos-para-ahorrar-energia/23900308>
- Woodall, J. F. (Diciembre 1999). AZSlide. Recuperado de https://azslide.com/a-technical-and-economic-assessment-of-the-use-of-cold-seawater-for-hotel-air-co_59d338bb1723dd0745eaea53.html

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL

Mercedes Alemán García.

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ingeniera Mecánica. Doctora en Ciencias Técnicas. CP130802, teléfono 0987377464, maleman1960@yahoo.es

Juan Luis Rodríguez Olivera.

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ingeniero Mecánico. Doctor en Ciencias Técnicas. CP130802, teléfono 0990492565, jlro1961@yahoo.com.mx

Jordy Arturo Lemache Calle.

Estudiante Egresado. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, CP130802, teléfono 0994477401, jordylemache_94@hotmail.com

José Roberto Toala Macías.

Estudiante Egresado. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, CP130802, teléfono 0984940477, jtoalama@gmail.com

Resumen

Se analiza el comportamiento histórico y la situación actual del consumo de energía eléctrica en la Carrera Mecánica Naval de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí con el objetivo de demostrar la necesidad de aplicar un Sistema de Gestión Energética basado en la norma ISO 50001. A partir de la instalación del medidor eléctrico se obtienen reportes diarios y se analiza el comportamiento histórico de este servicio, la tendencia y los gastos de energía eléctrica de los meses de agosto y septiembre del año 2017, determinándose un consumo promedio mensual de 5839,655 kWh, lo que implica un gasto de 375,66 USD. Se

realiza un balance de carga a partir del consumo unitario de cada equipo y tiempo estimado de uso, determinando el por ciento de participación de cada área, sistemas y equipos en consumo total, resultando el aula de la Oficina Administrativa de la Escuela de Conducción la de mayor consumo eléctrico con el 12.93% del total. El balance de carga reporta que el sistema de aire acondicionado representa el 53.64%, los equipos de computación representan el 16.83%, la iluminación el 13.87% y otros consumidores 15.66%. Finalmente se muestran gráficos de carga diaria promedio y sus características a partir de los horarios de trabajo y días de la semana, y se hacen propuesta para una mejor gestión de la energía.

Palabras Claves: Energía, gestión energética, eficiencia energética.

APPLICATION OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN THE NAVAL MECHANICAL COLLEGE.

Abstract

The historical behavior and the current situation of the electric power consumption in the Naval Mechanical College of the Laica Eloy Alfaro de Manabí University is analyzed in order to demonstrate the need to apply an Energy Management System based on the ISO 50001 standard. After the installation of the electric meter, daily reports are obtained and the historical behavior of this service, the trend and the electric energy expenses of the months of august and september the year 2017, are analyzed, determining an average monthly consumption of 5839.655 kWh, which implies an expense of 375.66 USD. A load balance is make from the unit consumption of each equipment and estimated time of use, determining the percentage of participation of each area, systems and equipment in total consumption, resulting the classroom of the Administrative Office of the Driving School. The greater electrical consumption with 12.93% of the total. The load balance reports that

the air conditioning system represents 53.64%, computer equipment represents 16.83%, lighting 13.87% and other consumers 15.66%. Finally, graphs of average daily load and its characteristics are shown from work schedules and days of the week, and proposals are made for better energy management.

Key words: Energy, energy management, energy efficiency.

Introducción

La presión hoy día sobre el uso de los recursos, en especial los energéticos obliga a utilizarlos cada vez de manera más racional y eficiente debido a la tendencia al encarecimiento de la energía y al agotamiento de estos recursos no renovables (combustibles fósiles), que está provocando una presión social y económica a la sociedad. A nivel mundial la industria, y específicamente la industria de la energía representa el sector de mayor consumo de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero (Borroto et al, 2007) responsables del cambio climático en el planeta, que es ya una realidad.

En Ecuador se vive un cambio de la matriz energética (Albornoz, 2013) que es el soporte para el cambio de la matriz productiva donde se espera que las ocho hidroeléctricas entre en operación para consolidar la columna vertebral de una revolución económica, pero aún, en el año 2016 la energía eléctrica generada a partir de fuentes térmicas representó el 32,12% de toda la energía producida según ARCONEL (2017).

La implementación de la gestión energética debe ser prioridad para la civilización, porque esto nos invita al cambio y tener a lo que muchos investigadores sobre gestión energética se refieren a “cultura energética” porque en algún punto se acabarán esos recursos no renovables (sabiendo que los combustibles fósiles se utilizan a nivel mundial un 80% para la generación de energía eléctrica), comprobado científicamente; y nos veremos en la encrucijada de una nueva elección energética debido al

agotamiento de estos combustibles y la contaminación a la atmósfera, agua y suelos que provocan impactos locales tales como lluvias ácidas e incluso de alcance global como los cambios climáticos, provocados por el incremento de gases de invernadero en la atmósfera, dado que en la actualidad la concentración de CO₂ está en valores superiores a los 400ppm.

La gestión energética (Borroto, 2007) constituye hoy metodologías de buenas prácticas con resultados comprobados que garantizan el incremento de la eficiencia energética y la mejora continua de los procesos (Campos, 2008). El uso eficiente de la energía es la medida más efectiva, a corto y mediano plazo para lograr una reducción significativa de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, es por tal motivo que se propone en este trabajo como objetivo implementar dicho Sistema de Gestión Energética que será el punto de inflexión dentro de la Alma Mater y que encaminará a una reducción de costos y consumos de energía eléctrica; y por ende hacia el Desarrollo Sustentable Energético, además y no menos importante es necesario desarrollar en los profesionales una cultura energética y medioambiental en correspondencia con la situación actual mundial, siendo las Universidades responsables de ello en gran medida.

Desarrollo

• Caracterización de la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la ciudad de Manta, Manabí, Ecuador en cuanto se refiere a Gestión Energética, tiene un déficit, debido a la falta de herramientas, conocimientos y recursos económicos que no permiten el progreso hacia la correcta distribución y control de la energía eléctrica dentro sus instalaciones. Ante tal error la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval la cual pertenece a la Facultad

de Ingeniería se propone Aplicar un Sistema de Gestión Energética en la Carrera de Mecánica Naval que contribuya al desarrollo energético de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

La Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval está conformada por una matrícula estudiantil de 227 y entre profesores y personal administrativos se cuenta con un total de 21 trabajadores. El edificio está distribuido en aulas, en la planta baja y oficinas administrativas, un segundo piso en la cual se encuentran laboratorios y aulas, y un tercer piso y cuarto piso en los cuales hay aulas, oficinas de profesores.

• Balance de carga en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval

Para realizar el Balance de Carga del edificio de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, se realiza un recorrido por las instalaciones para determinar con cuántas áreas, departamentos y equipos eléctricos consta dentro del edificio, segundo se trabaja mancomunadamente con el personal de servicio que nos indica los equipos que están en correcto funcionamiento y se estima el tiempo que estos mismos se utilizan en el día. El tercer paso es utilizar los valores que se encuentran en la placa de características de cada uno de los equipos eléctricos, de tal manera se determina su potencia (kW), su consumo de energía (kWh) y su amperaje (A). Esto nos permite saber qué área, aulas y equipos son los mayores consumidores.

Con el Balance de Carga se puede estimar cuanto consume y debe pagar la carrera diariamente y cuáles son las áreas de mayor consumo de energía eléctrica siendo los resultados más importantes los siguientes:

- Total de consumo eléctrico = 743,276 kWh
- Total de amperaje = 649,49 A
- Total del valor a pagar USD por consumo = 48,32 USD

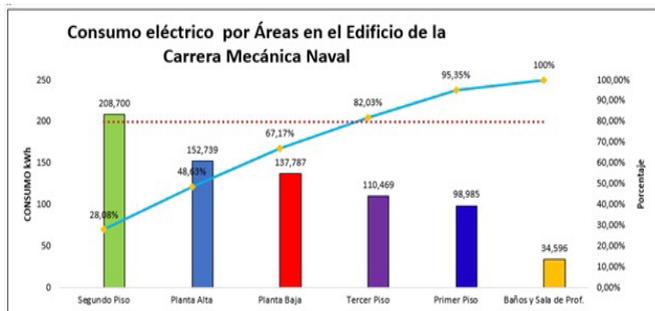


Figura 1: de Estratificación por áreas de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval. Fuente: Autores.

Como resultados tenemos que el área # 4: Segundo piso es la que mayor consumo tiene 208,7 kWh que representa un costo diario de 13,57 USD, es decir un 28,08% de todo el consumo de la Carrera.

El Diagrama de Pareto es una de las herramientas (Hernández, *et al.* 2014) que se utiliza para establecer un Sistema de Gestión Energética, es un gráfico especializado de barras que sirve para identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de mayor consumo y que representan las mayores pérdidas económicas. Estas áreas son: #4 (Segundo piso), #6 (Planta alta), #2 (Planta baja) y #5 (Tercer piso).

• Estratificación por Departamentos en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

La Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval consta de 30 departamentos, demostrando que la Oficina Administrativa de la Escuela de Conducción es la que más consume energía con un total de 96.084 kWh que representan un gasto de 6.25 USD diariamente y si lo llevamos a cifras de porcentaje es 12.93% del consumo total del edificio de la Carrera. El valor elevado de este departamento se debe que se utilizan muchos equipos eléctricos

(diariamente) que en costo es 6.70 USD.



Figura 3 Consumo kWh diario de los Sistemas de la Carrera Mecánica Naval.
Fuente: Autores.

Para la estratificación por sistemas se utiliza el Diagrama de Pareto y se aplica de igual manera la Ley del 80-20. Para este caso particular se tiene como resultado que sólo 3 sistemas están inmersos dentro del 80% que son: climatización o aires acondicionados, equipos de computación o computadoras y sistema de iluminación o luminarias.

• Estratificación por equipos

En las Figuras 4, 5 y 6 se agrupan los equipos eléctricos e iluminarias de las mismas características existentes en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, también se ubica el valor total de amperaje, el costo en USD que representa su consumo eléctrico total (1 kWh= 0.065 USD).

En la figura anterior se hace una clasificación de las computadoras por su consumo eléctrico en el día, donde las 7 Computadoras LG son los que más consumen con una cantidad de 21.000 kWh que representan un costo de 1.37 USD, seguidos de las 14 Computadoras DELL con un consumo de 21.000 kWh (diariamente) que generan un costo de 1.37 USD, le siguen las 5 Computadoras LG con un consumo de 18.000 kWh (diariamente) que generan un costo de 1.17 USD y por último las 3 Computadoras HP con un consumo de 16.500 kWh (diariamente) que generan un costo de 1.07 USD.

En la figura 6 se muestra que sólo existe una marca de Luminaria que es SYLVANIA F32W, pero no se pueden agrupar todos porque sus valores de consumo en kWh varían debido al tiempo de uso estimado dentro de la carrera, es decir algunas luminarias trabajan 12 horas, 10 horas, 8 horas, 6 horas, etc. Aun así se representan sus valores tanto en consumo eléctrico y costo para cada uno, siendo las 77 luminarias SYLVANIA que trabajan 10 horas las de mayor consumo dentro de las mismas con un valor de 24,64 kWh que representa un costo de 1,60 USD.



Figura 6 Consumo kWh diario de las luminarias en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

Los resultados muestran que sólo estos 3 sistemas quedan inmersos dentro del 80% que son: climatización, computadoras y sistema de iluminación.

• **Diseño del experimento para la medición del consumo de energía eléctrica en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.**

A partir de las mediciones tomadas del medidor FULCROM instalado en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval se procede el día 26 de agosto a realizar el diseño de experimento donde se planifica de la siguiente manera:

• *Todo apagado (equipos eléctricos e iluminarias) en el edificio:* Aún todos los equipos eléctricos e iluminarias apagadas se esperaba que su resultado sea cero, pero el resultado de la prueba marca que la potencia instantánea utilizada a las 10:36 am fue de 1,180 kW, mientras que a las 10:55 am su potencia fue de 1,136 kW.

• *Sólo acondicionadores de aire encendido y los demás equipos eléctricos e iluminarias apagados:* Para esta medición se obtuvo los siguientes resultados, a las 11:10 am la potencia instantánea utilizada fue de 35,076 kW y para el caso de las 11:20 su potencia fue de 32,16 kW. Disminuye la potencia instantánea utilizada debido a que en la primera medición los aires acondicionados arrancan y tienen un mayor pico de demanda de energía, por obvias razones cuando se estabilizan los equipos su demanda de potencia instantánea baja pero no drásticamente.

• *Sólo las iluminarias encendidas y el resto de equipos apagados:* Para este caso se tiene que a las 11:27 am su potencia instantánea era de 11,133 kW y a las 11:37 am su potencia marcaba un 11,044 kW.

• *Sólo los equipos de computación y proyectores encendidos, el resto de equipos eléctricos e iluminarias apagados:* Para este caso a las 11:53 am su potencia instantánea era de 5,669 kW y a las 12:03 pm su potencia marcaba un 5,429 kW.

• *Todo encendido (equipos eléctricos e iluminarias) en el edificio:* Para esta medición se tiene los siguientes resultados, a las 12:13 pm la potencia utilizada fue de 44,701 kW y a las 12:23 pm su potencia fue de 44,125 kW.

En la tabla 1 se presenta 2 pruebas de mediciones que sirven para comprobar los valores anteriores, obteniendo los siguientes resultados:

- *Sólo iluminarias y aires acondicionados encendidos y el resto de equipos apagados:* Para esta medición se espera que de manera visual se puede comparar los resultados, debido a la suma de las potencias instantánea de sólo los aires acondicionados encendidos más sólo las iluminarias encendidas. Los resultados de su potencia instantánea a las 12:38 pm fue de 41,749 kW y a las 12:48 pm su potencia instantánea fue de 43,699 kW.

- *Sólo acondicionadores de aire encendidos el resto de equipos eléctricos e iluminarias apagados:* Para esta última medición se quiso comprobar que los resultados anteriores eran los correctos, este valor se tomó a las 12:54 pm dando como resultado en ese instante que su potencia era de 30,78 kW.

En la tabla 1 se muestran los ítems a medir en la prueba, los valores de su potencia instantánea (kW) para las mediciones (1 y 2) y por último el valor promedio de su potencia.

Tabla 1 de los resultados de la Prueba de Medición por Sistemas, (Potencia instantánea) del Medidor FULCROM. *Fuente Autores.*

SISTEMAS	Potencia Instantánea kW		PROMEDIO
	1	2	
Todo Encendido (equipos eléctricos e iluminarias)	44,701	44,125	44,413
Sólo Iluminarias y A/C encendidos encendidos	41,749	43,699	42,724
Sólo A/C encendidos	35,076	32,160	33,618
Sólo iluminarias encendidas	11,133	11,044	11,089
Sólo pc/proyect. Encendidos	5,669	5,429	5,549
Todo Apagado (equipos eléctricos e iluminarias)	1,180	1,136	1,158

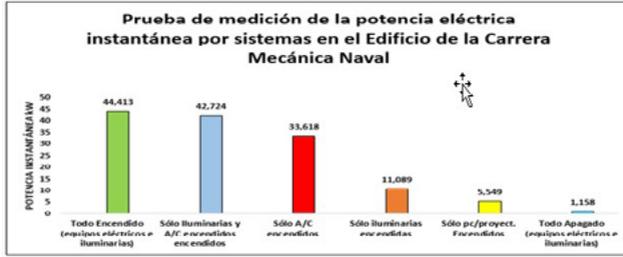


Figura 7 Diagrama de Pareto de la prueba de medición del consumo eléctrico instantáneo por sistemas en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

Tanto la Tabla 1 como la *Figura 7* son un resumen de la prueba de medición con sus valores promedios por cada ítems de medición y se colocan de escala mayor a menor con respecto a su potencia (kW).

El primer lugar es ocupado por todos los equipos eléctricos e iluminarias encendidas con un valor promedio de 44,413 kW, seguido de las luces y aires acondicionados encendidos con un valor de potencia instantánea promedio de 42,724 kW, el tercer lugar es para sólo acondicionadores de aires encendidos con un valor promedio de 33,618 kW ocupando este el primer lugar para las mediciones de un solo equipos, resaltar que las anteriores tienen mediciones agrupados de equipos.

• **Indicadores históricos del consumo eléctrico en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.**

Para establecer la línea base e indicadores históricos de comparación se toma como referencia la potencia empleada versus las horas en un día y la potencia empleada versus días característicos. Luego se registra cada uno de los datos emitidos por el medidor cada 15 minutos desde el día 2 de agosto de 2017 a las 9:00 am hasta el 1 de octubre del 2017 a las 7:00 am.

• **Consumos y costos eléctricos en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval medidos desde 2 de agosto del 2017 a las 9:00 am hasta el 1 de octubre del 2017 a las 7:00 am.**

Los días de estudio fue desde el 2 de agosto del 2017 hasta el 30 de septiembre del 2017, los consumos eléctricos diarios establecidos por la factura de CNEL que son de 7:00 am a 22:00 pm donde el cobro por 1 KWH es de 0.065 USD; y de 22:00 pm a 7:00 am donde el cobro por 1kWh es de 0.054 USD.

Los resultados más importantes de Consumo y Costos eléctricos en estos 2 meses son los siguientes:

- ✓ Total de consumo eléctrico = 11679,310 kWh
- ✓ Consumo eléctrico PROMEDIO mensual = 5839,655 kWh
- ✓ Total de consumo eléctrico de 7:00 a 22:00 = 10966,744 kWh
- ✓ Total de consumo eléctrico de 22:00 a 7:00 = 712,566 kWh
- ✓ Total a pagar USD por el consumo eléctrico = \$751,32
- ✓ Total a pagar USD por el consumo eléctrico PROMEDIO mensual = \$375,66
- ✓ Total a pagar USD por el consumo eléctrico de 7:00 a 22:00 = \$721,84
- ✓ Total a pagar USD por el consumo eléctrico de 7:00 a 22:00 = \$38,48
- ✓ Día de mayor consumo eléctrico del mes de agosto en el horario de 7:00 a 22:00 = Martes 22 de agosto, 368,696 kWh y \$23,97.
- ✓ Día de mayor consumo eléctrico del mes de agosto en el horario de 22:00 a 7:00 = Miércoles 09 de agosto, 41,696 kWh y \$2,25.
- ✓ Día de mayor consumo eléctrico del mes de septiembre en el horario de 7:00 a 22:00 = Miércoles 06 de septiembre, 365,696 kWh y \$23,77.
- ✓ Día de mayor consumo eléctrico del mes de septiembre en el horario de 22:00 a 7:00 = Miércoles 06 de septiembre, 32,783

kWh y \$1,77.

• **Semana promedio de Clases Normales**

En la *Figura 8* se muestra el gráfico de Potencia vs horas, se agruparon 5 semanas de clases (2 de agosto hasta el 3 de septiembre) donde se calculó un valor promedio para cada uno de los días de la semana, donde se observa que el día martes promedio es el que utiliza más potencia, mientras que para el horario de tarde noche el día lunes promedio es el que ocupa el primer lugar.



Figura 8 Potencia vs Horas (Semana PROMEDIO de clases normales). Fuente: Autores.

• **Semana de Exámenes**

En la *Figura 9* se muestra que la Semana de exámenes se observa que en el horario de la mañana el día que más consume energía es el jueves y en el caso del horario de la tarde-noche es el día miércoles.



Figura 9 Potencia vs Horas (Semana de EXÁMENES)

Nótese que aun siendo semana de exámenes los picos de demanda energética son muy altos debido a que en esta semana normalmente los conserjes dejan encendidos los aires acondicionados ya que existe una gran afluencia de estudiantes y suelen cambiar de curso para dar prueba de las demás asignaturas de tal manera que no hay un espacio para apagarlos.

• Semana de Recuperación

En la *Figura 10* se muestra que para la semana de recuperación el día martes es el que más consume energía, pero que su pico más alto se dio a las 15:45, en relación a las otras semanas su potencia ha sido baja.



Figura 10 Potencia vs Horas (Semana de RECUPERACIÓN). Fuente: Autores.

Los días de semana (lunes a viernes) mantienen su gráfica constante que empieza a las 6:30 de la mañana sube su potencia a las 8:00 se mantiene por unos momentos y baja, no todo, pero existe una disminución que es a la hora de almuerzo y vuelve a subir a las horas de la tarde (14:30) hasta que se finaliza la jornada académica diaria (21:00) que vuelve a bajar y se mantiene constante la noche-madrugada hasta el siguiente día.

• **Semana de Vacaciones.**



Figura 11 Potencia vs Horas (Semana PROMEDIO de vacaciones).

En la *Figura 11* se muestra que para el caso de la semana promedio de vacaciones lo que primero se observa es que sus límites de potencia han reducido en comparación a las semanas anteriores, posteriormente se ve que el día martes promedio tiene un consumo de energía constante, pero que el día lunes promedio existe un pico muy alto de consumo a las 16:15 hasta las 17:00 horas. También se aprecia que hay una tendencia entre los días (lunes, miércoles, jueves y viernes) de comenzar a las 7:00 mantenerse bajo en su consumo y volver a caer en su consumo a las 12:30 del día, en el caso de la tarde los mismos días mantienen la tendencia y suben a partir de las 14:00 horas y empiezan a bajar a las 21:00 de la noche.

• Comparación de Semanas

En la *Figura 12* se comparan todas las semanas estudiadas como son: semana promedio de clases normales, semana de exámenes, semana de recuperación y semana promedio de vacaciones; en conjunto se observa los valores del consumo eléctrico y los gastos que generan por ese consumo.

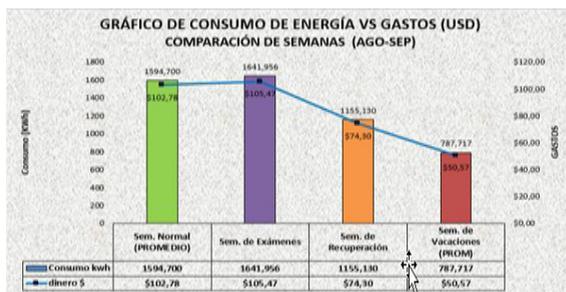


Figura 12 Consumo vs Gastos en USD en la Carrera Mecánica Naval (comparación de semanas). Fuente: Autores.

En la *Figura 12* se muestra que la semana que más consume energía y que más genera gastos es la Semana de EXÁMENES con un consumo de 1641,956 kWh con un gasto de 105,47 USD, la semana que le sigue es la semana promedio de clases normales con un consumo de 1594,700 kWh que generan un gasto de 102,78 USD, en tercer lugar se ubica la semana de recuperación con un consumo de 1155,130 kWh que representan un gasto de 74,30 USD y por último tenemos la semana promedio de vacaciones con un consumo de 787,717 kWh con un gasto de 50,57 USD.

• Resultados de las medidas de ahorro aplicadas en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval

Las tareas a realizar en la Campaña de Concientización y Educación

Ambiental fue la siguiente: Elaboración del material de apoyo que se imparte a los estudiantes de la Carrera, la elección de una persona por curso para colaboración con la campaña, elaboración de publicidad y ejecución de encuesta, con estas medidas sin costo, se logra un ahorro de energía eléctrica considerable en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval que se muestra en la *Figura 13*, a través de una comparación con los consumos eléctricos generados en la Semana Promedio de Clases Normales con la Semana Promedio de Clases Normales aplicadas las medidas de Ahorro; a su vez se representan los gastos en USD generados por ese consumo eléctrico. También se marca el ahorro en kWh y en USD para cada día de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo).

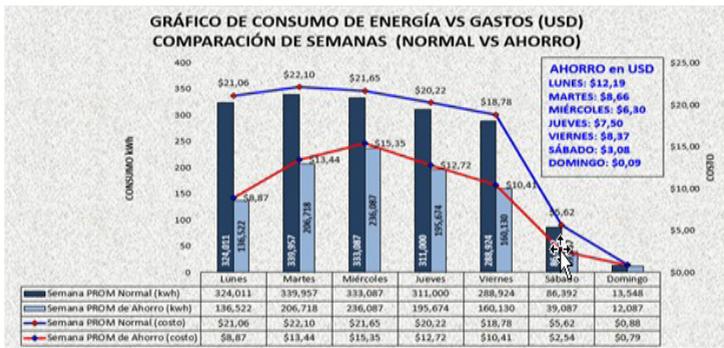


Figura 13 Consumo vs Gastos en USD en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval (Comparación de Semana Promedio Normal vs Semana Promedio de Ahorro). Fuente: Autores.

Se tiene como resultado que si se compara el consumo y costos eléctricos mensual promedio para semanas sin medidas de ahorro vs semanas con medidas de ahorro, en las semana sin medidas de ahorro el consumo eléctrico mensual es de 5839,655 kWh con un valor de USD del consumo eléctrico promedio mensual de 375,66 USD y para las semanas

con medidas de ahorro se logró reducir a un consumo eléctrico mensual de 4143,476 kWh con un valor de consumo eléctrico promedio mensual de 265,18 USD, por lo que con las medidas de ahorros implementadas se logra reducir el consumo eléctrico mensual en 1696,179 kWh lo que equivale a un ahorro de 110,48 USD.

Conclusiones

1. El consumo energético de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval es de 5839,655 kWh/mensual promedio, lo que implica un gasto de 375,66 USD mensual promedio.

2. Los sistemas de acondicionamiento de aire representan el 53,64% del consumo de energía eléctrica de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

3. Los días de mayor consumo eléctrico en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval son los días martes y miércoles.

4. La semana de mayor consumo eléctrico en la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval es la semana de exámenes en comparación a las semanas de clases normales promedio, semana de recuperación y semana de vacaciones.

5. Aplicando la Campaña de Concientización en la carrera se obtiene un ahorro aproximado del consumo eléctrico PROMEDIO mensual de 1696,179 kWh que representa una reducción del costo mensual a pagar de 110,48 USD.

6. Dado los resultados de la encuesta se muestra el poco conocimiento e importancia de toda la población de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval (estudiantes, docentes, conserjes, personal administrativo) sobre el tema de Gestión Energética.

Bibliografía

- Albornoz, E. (2013). *El nuevo sector eléctrico ecuatoriano*. Ministerio de Electricidad y Energía Renovables.
- ARCONEL (2017). *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano*, publicada por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
- Assurance, L. R. (s.f.). *ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía*. Recuperado de <http://www.lrqa.es/certificaciones/iso-50001-eficiencia-energetica/>
- Boroto N. A. (2007). *Eficiencia Energética en Ssistemas de Suministros Eléctricos*. Universo Sur. Universidad de Cienfuegos.
- Boroto, N. A. (2007). *Gestión Energética Empresarial*. Universo Sur. Universidad de Cienfuegos.
- Borroto N. A. (2007). *Eficiencia Energética en Sistema Termomecánicos*. Universo Sur. Universidad de Cienfuego.
- Campos, A. J., Lora, F. E., Meriño, S. L., & Tovar, O. I. (2008). *Sistema de Gestion Integral de la Energía. Guía para Implementación*. Universidad Autonoma de Occidente.
- Hernández, P. A., Carmona, V. G., Flores, D. L., & Sosa, G. R. (2014). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. MEXICO DF.

CAPÍTULO 4: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS

Introducción

En este capítulo se presentan cuatro artículos enfocados en el diseño y construcción de equipos, todos con el objetivo de aportar a la tecnología y al conocimiento en el campo de las ingenierías, estos equipos son instalaciones que pueden ser utilizadas para futuras investigaciones tanto en el área de formación de los estudiantes, como también por profesionales en la rama de la ingeniería. Con el diseño de estos equipos es posible aplicar métodos y soluciones reales asociados a cada área de estudio de cada instalación.

Se demuestra también que con el resultado de estas investigaciones se logra mejorar las condiciones de los laboratorios de la carrera de Mecánica Naval en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, las cuales pueden contribuir al desarrollo de prácticas, como estrategia didáctica que, desde el paradigma constructivista, promueva la construcción de conocimiento científico universitario, contribuyendo al desarrollo de ciertas habilidades científicas.

Los artículos considerados en este capítulo abordan las temáticas siguientes: la corrosión acelerada en materiales del sector marítimo, optimización del pico satélite hexasat en cuanto a vibraciones, el fresado de piezas a través de máquinas con Control Numérico Computarizado a escala para aceros de bajo contenido de carbono y la limpieza de aceites hidráulicos.

Se muestra el diseño y construcción de una cámara de niebla salina basada en los parámetros establecidos por la norma ASTM B-117 para

ensayos de corrosión acelerada, simulando la exposición de un material durante varios años al ambiente o a la intemperie en un tiempo sumamente pequeño.

La construcción de un banco de vibraciones para la conducción de pruebas experimentales con el picosatélite, permite verificar si los satélites miniaturizados, resisten a las vibraciones recreadas en escenarios críticos a través del banco de prueba de vibraciones para altos rangos de pruebas de frecuencias de operación, simulándose las condiciones a las que se exponen los picosatélites durante el lanzamiento y puesta en órbita.

Se diseña un prototipo de máquina fresadora con Control Numérico Computarizado o CNC a escala para aceros de bajo contenido de carbono, capaz de dirigir de manera automática y coordinada, los movimientos durante el mecanizado de piezas o figuras complejas.

El último de los artículos que se presenta es el diseño y construcción de una máquina dializadora que tiene un impacto investigativo, económico y ambiental; desde el punto de vista investigativo ayuda a los estudiantes a realizar futuras investigaciones sobre el comportamiento de los fluidos después del dializado, similar en lo económico al incorporar esta máquina a las industrias como parte del mantenimiento preventivo de los equipos que utilizan fluidos, reduciendo costos tanto en mantenimiento como en la adquisición de nuevos fluidos oleohidráulicos y por último y no menos importante se reduciría el impacto ambiental que tiene estos fluidos a ser desechados, quemados o almacenados en lugares inadecuados.

La utilización de estos equipos permite que los estudiantes en su formación puedan interactuar y experimentar con la ciencia y la tecnología, para así desarrollar eficientemente su capacidad analítica y la construcción de ideas en un ambiente de investigación. Esto hace que la construcción de equipos de laboratorios en instalaciones educativas potencialice la importancia de los laboratorios en la enseñanza de la educación superior, así mismo con la integración de estas prácticas se contribuye

a un mayor nivel académico en el proceso de enseñanza-aprendizaje y los conocimientos van a ser asimilados de manera más eficiente. Los laboratorios universitarios constituyen uno de los mecanismos fundamentales en la aplicación de los conocimientos y da la posibilidad a los estudiantes de verificar el desarrollo y la aplicación de la teoría impartida por los docentes en las aulas, de esta manera se desarrolla un puente de saberes entre la teoría y la práctica, lo que permite un mejor empoderamiento del conocimiento, ya que se estimula la interacción con casos reales, permitiendo conjugar la teoría y la práctica experimental como una actividad investigativa.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE VIBRACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PICOSATELITE HEXASAT

Francisco Javier Paredes Mera Docente

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ingeniero Mecánico y Máster Universitario en Ingeniería Mecánica.

Correo: francisco.paredes@uleam.edu.ec

Marco Antonio González Silva

Jefe de Mantenimiento en Acería del Ecuador – Adelca C.A. Ingeniero Mecánico y Máster en Dirección de Operaciones y Seguridad industrial.

Correo: mgonzales@adelca.com

Resumen

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE ha puesto en marcha el programa Geoespacial cuyo objetivo actual es la investigación y desarrollo de picosatélites de autoría ecuatoriana. Se han desarrollado hasta el momento tres proyectos. Los dos primeros consistieron en la fabricación de un prototipo estructural de un picosatélite tipo “CubeSat”, tomando en cuenta fundamentos de diseño y simulaciones con software computacional, fabricación y conducción de pruebas y ensayos mecánicos. El tercer proyecto aportó con la fabricación de un nuevo prototipo de picosatélite llamado “HexaSat”. En la etapa de pruebas se simulan las condiciones a las que se exponen los picosatélites durante el lanzamiento y puesta en órbita. El objetivo de esta investigación es determinar si estos picosatélites pueden resistir estructuralmente a los esfuerzos que van a estar sometidos durante su despegue (Baren, February 2012). En este sentido, el presente proyecto fue orientado a la construcción de un banco de vibraciones para la conducción de pruebas experimentales con el picosatélite. En

estas pruebas se verificó si los satélites miniaturizados, resisten las vibraciones recreadas de los dos escenarios críticos antes mencionados. Los resultados de las pruebas indican que los prototipos no cumplen con la norma ECSS (European Cooperation for Space Standardization) (ECSS, 2012), aunque la aprobación de los mismos dependerá de la autoridad encargada del lanzamiento de los picosatélites.

Palabras claves: Elemento estructural, Proceso aleatorio, Procesamiento de datos, Manufactura, Campo Electromagnético, Ensayo.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VIBRATION SHAKER FOR THE OPTIMIZATION OF PICOSATELITE HEXASAT.

Abstract

The Army Forces University ESPE has stated a Geospatial Program through the performance of research and development of Ecuadorian picosatellites. To this point, there have been developed three projects. The first two were related to the manufacturing of a structural picosatellite prototype named "CubeSat". Those projects dealt with fundamentals of design and computer software simulations, fabrication and performing mechanical tests and experiments. The third project incorporated the manufacture of a new picosatellite prototype called "HexaSat". In the testing and experimental stage, conditions at which the picosatellites be exposed during the launching and in orbit are simulated. The objective of this research is to determine if these picosatellites can structurally resist the efforts that will be present during their takeoff (*Baren, February 2012*). In this sense, this project was aimed to the construction of equipment that develops vibrations in order to conduct experimental tests with the picosatellite. Throughout the tests, it was verified if the miniaturized satellites withstand the recreated vibrations for the two aforementioned critical scenarios. Results show that test results indicate the prototypes

do not meet the ECSS (European Cooperation for Space Standardization) standard (*ECSS, 2012*), although the final approval will depend on the launching authority of the picosatellites.

Key Words: Structural Element, Random processes, Data processing, Factories, Electromagnetic fields, Testing.

Introducción

Una vez constatado el desarrollo en el Ecuador de los nanosatélites (que oscilan entre 1 a 10 kg), se ha puesto en marcha proyectos de picosatélites (pesos menores a 1 kg), ya que resultan económicamente más viables para su fabricación al tener estos últimos un menor peso. Las pruebas de vibraciones son muy importantes para el desarrollo de los picosatélites ya que estas simulan las condiciones a las que están expuestos tanto en el despegue como en la puesta a órbita; de manera que estas pruebas son vitales para el diseño, fabricación y su posterior operación y funcionamiento. Las vibraciones son una respuesta repetitiva, periódica u oscilatoria de un sistema mecánico y una respuesta forzada de vibración, ocurre cuando el sistema oscila debido a la acción de fuerzas externas que lo excitan. (Smallwood, 2002)

Desarrollo

Para la realización de ensayos vibratorios en picosatélites, existen diferentes alternativas de diseño y construcción de bancos de pruebas de vibraciones mencionadas en la tabla 1:

Tabla 1. Características de distintos bancos de vibraciones (Rao, 2012)

Tipo de banco de vibración	Frecuencia (Hertz)	Máxima Velocidad (cm/s)	M á x i m a Aceleración (g)	M á x i m a Fuerza (N)
Hidráulico	0.1-500	125	20	450000

Inercial	2-50	125	20	4500
Electromagnético	2-10000	125	100	2000

Para la construcción del banco de vibraciones, se tomará en cuenta el rango de frecuencias de operación, el cual será de 20 a 2000 Hertz (ECSS, 2012). El banco de vibraciones electromagnético es el más empleado en los ensayos dinámicos, debido al amplio rango de frecuencias que puede excitar. Este mecanismo utiliza un agitador electrodinámico, también conocido como excitador electromagnético (Fig. 1). Cuando pasa corriente a través de una bobina colocada en un campo magnético, se produce una fuerza F (Newtons) proporcional a la corriente i (Amperios) y la intensidad de flujo magnético B (Teslas, $\text{kilogramo.segundo}^{-2}.\text{Amperio}^{-1}$), la cual acelera el componente colocado en el plato vibratorio (Smallwood, 2002).

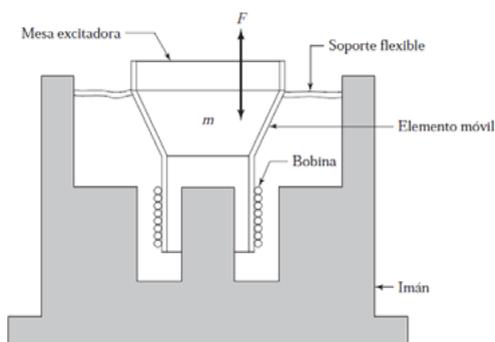


Figura 1. Esquema de un excitador electromagnético (Rao, 2012).

El excitador electromagnético aprovecha el campo magnético creado mediante un electroimán o un imán permanente para generar vibración, al hacer pasar una corriente eléctrica por una bobina situada en medio del campo magnético.

Metodología

Cálculo de la fuerza electromagnética

Para el cálculo de la fuerza electromagnética, se debe conocer el peso que se va a levantar. El picosatélite a ensayarse, se sabe que tiene un peso entre 0.1 kg y 1 kg (ITU, 2012); por lo que se diseñará un banco que levante objetos de hasta 10 kg, con el propósito de levantar el peso adicional que puedan tener los picosatélites y para usar el banco en pruebas con objetos más pesados y que cumplan con el propósito.

$$F_e = B \times l \times \eta \times i \text{ (Reitz, 1996) (1)}$$

La ecuación (1) corresponde a la fuerza electromagnética, en la cual B , es la intensidad del campo magnético generado por imanes permanentes de Neodimio (1,17 Teslas); l , es el perímetro de la bobina (0.48 metros); η , es el número de vueltas de la bobina (125); i , es la corriente (1.5 Amperios); obteniendo una fuerza electromagnética de 90 N.

Simulación y análisis del banco de vibraciones

Con el software ANSYS se realiza el análisis armónico del banco de pruebas de vibraciones, para determinar las aceleraciones, velocidades y desplazamientos generados por la fuerza electromagnética, así como para encontrar la frecuencia natural del sistema y los esfuerzos generados. Se debe tener en cuenta los valores de frecuencia de vibración estipulados anteriormente para este banco. El agitador va a realizar una prueba de vibración randómica (random vibration). El sólido en 3D (Fig. 2), se lo genera con el software Autodesk Inventor, para posteriormente exportarlo al programa ANSYS (ANSYS, Inc., 2013).

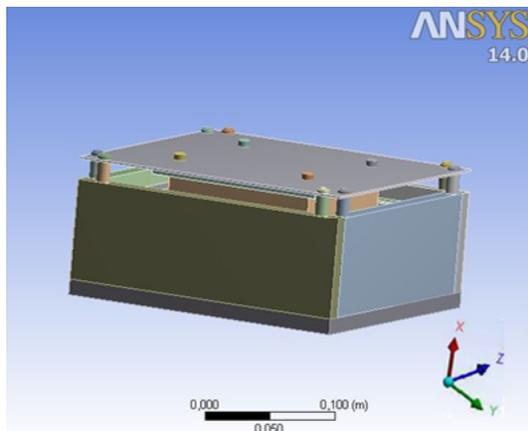


Figura 2. Geometría del sólido.

Para realizar el análisis armónico por medio de elementos finitos con la ayuda del software ANSYS, se determina el dominio a analizar, en este caso la región más crítica del banco, el plato vibratorio. La discretización del dominio se muestra en la fig. 3.

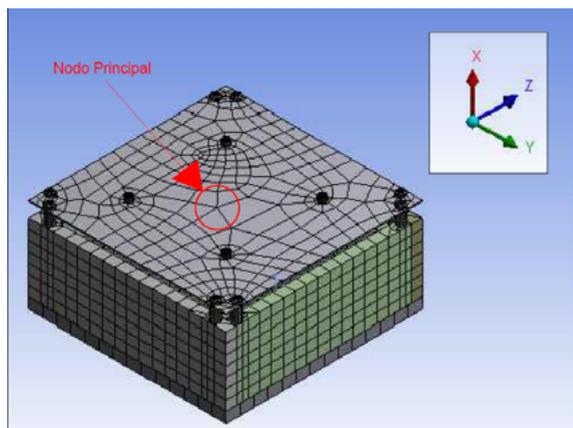


Figura 3. Discretización del banco de vibraciones.

Se considera para el análisis armónico, que la placa vibra en un

solo grado de libertad y con una fuerza externa ejercida por el campo magnético; la ecuación que rige este movimiento será:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F\} \quad (\text{Kim, 2015}) \quad (2)$$

Donde M viene dado por las propiedades de la masa del material, C por el factor de amortiguamiento, K por la constante de rigidez, F por la fuerza externa que es inducida por la bobina. Donde tenemos que la matriz de rigidez es:

$$[K_c]\{x_c\} = \{F_c\} \quad (3)$$

Las condiciones de borde están dadas para los extremos y centro de la placa. En los extremos no hay desplazamiento, por lo que la placa estará en reposo respecto al centro, es decir

$$x = \dot{x} = \ddot{x} = 0 \quad (4)$$

En el nodo principal, ubicado en el centro, se tiene una fuerza de 90 N, y un rango de frecuencia de 20 a 2000 Hertz. Para encontrar la frecuencia natural del sistema se emplea la gráfica amplitud-frecuencia (fig. 4), en la cual se tiene que la frecuencia natural de banco de vibraciones es de 812 Hertz.

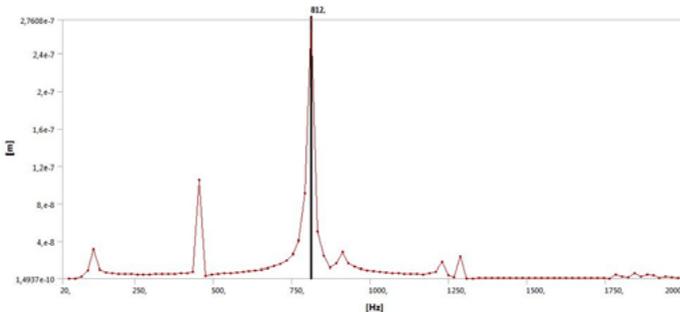


Figura 4. Gráfica Amplitud vs Frecuencia.

El esfuerzo máximo (σ) es de $2,68 \times 10^8$ Pa en su punto más crítico, cuando se trabaja en 812 Hz, la frecuencia a la que entra en resonancia,

como se muestra en la fig. 5.

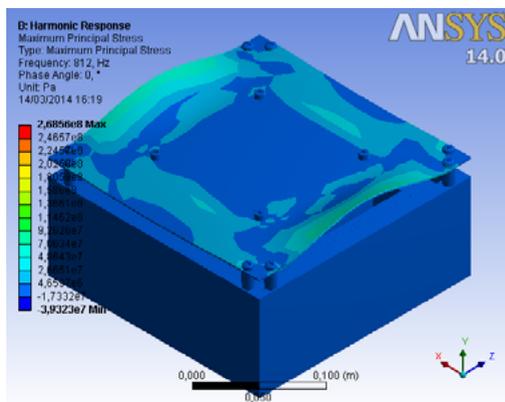


Figura 5. Esfuerzo principal máximo en el banco.

Al ser el plato vibratorio el elemento más crítico del banco por ser el elemento móvil del sistema, se tiene distintos desplazamientos para diferentes frecuencias como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Flexión del plato vibratorio para diferentes frecuencias.

δ (metros)	Frecuencia (Hertz)
2,16E-05	200
1,20E-05	400
2,41E-05	600
9,31E-04	812
4,52E-05	1000
1,57E-05	1200
8,87E-06	1400
7,69E-06	1600

La flexión máxima del plato vibratorio ocurre a 812 Hz (frecuencia natural) y es de $9,31 \times 10^{-4}$ metros (fig. 7).

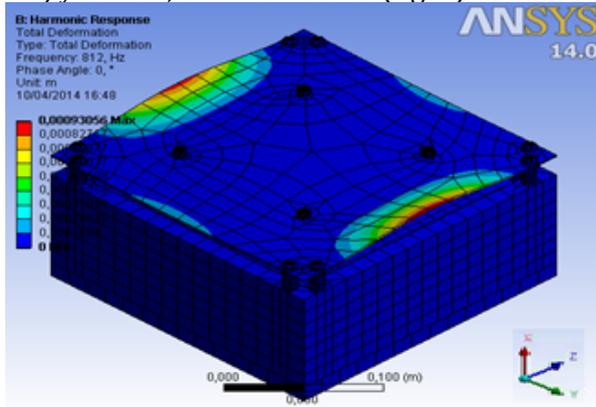


Figura 7. Flexión del plato vibratorio con el software ANSYS.

Especificaciones de diseño.

Tabla 3. Especificaciones de diseño del banco de vibraciones.

Subsistema	Características Principales	Materiales
Electromagnético	Fuerza electromagnética de 9 Kg, Imán de Neodimio de flujo magnético mínimo de 1 Tesla.	Acero, duralón, cobre y neodimio
Amplificación	Oscilaciones entre 20 y 2000 Hz	Amplificador operacional, Microcontrolador
Etapas de Potencia	Se necesita que resistan unos 450 Watts	Transistores
Fuente de Poder	Dos fuentes una de 46 VAC y otra de 12 VDC	Transformador
Acelerómetro	Rango de medida de 0 a 2 gravedades	Acelerómetro

Construcción

Al culminar las etapas de simulación y especificaciones de diseño se procede a la construcción del banco de vibraciones con los elementos seleccionados, con los distintos procesos de fabricación que intervienen como torneado, fresado, perforado, roscado, empernado, soldado, etc. Posteriormente se realiza el ensamblaje del banco con todos sus elementos mecánicos y electrónicos.

Análisis de Resultados

Los resultados que se obtendrán en las pruebas con los picosaélites, una vez concluida la construcción del banco, serán comparados con las tablas de random vibration de la norma ECSS (European Cooperation for Space Standardization), que se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Tolerancias permitidas (ECSS, 2012).

Test Parameters	Tolerances
6. Random vibration	
Amplitude (PSD, frequency resolution better than 10Hz)	
20 Hz – 1000 Hz	-1 dB / +3 dB
1000 Hz – 2000 Hz	± 3 dB
Random overall grms	± 10%

Tabla 5. Niveles de prueba de calificación y duración (ECSS, 2012)

Nº	Test	Levels	Duration	Number of applications
5	Random vibration	Maximum expected spectrum +3 dB on PSD values	1 minute	On each of 3 orthogonal axes
If margins higher than 3 dB are specified by the Launcher Authority, they apply.				

Las pruebas realizadas en el picosatélite HexaSat, muestran los datos siguientes obtenidos por el acelerómetro en la fig. 8.

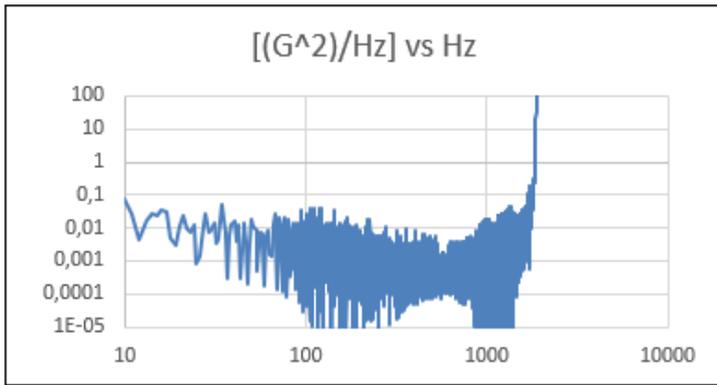


Figura 8. Gráfica (G^2/Hertz) vs Hertz.

Al analizar los datos obtenidos se procede a realizar la tabla 6, la cual permitirá validar el picosatélite. (Baren, February 2012)

Tabla 6. Resultados del picosatélite HexaSat.

FREQ (Hz)	ASD (G^2/Hz)	dB	OCT	dB/OCT	AREA	Grms
20	0,01	*	*	*	*	*
100	0,05	6,99	2,32	3,01	2,4	1,55
800	0,05	0	3	0	37,4	6,12
2000	0,01	-6,99	1,32	-5,29	63,84	7,99

Con los datos obtenidos, se procede a realizar la gráfica random vibration (NASA, 2009) del picosatélite, como se muestra en la figura 9.

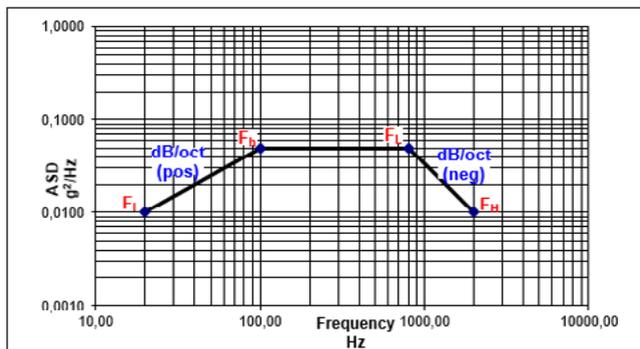


Figura 9. Gráfica Random Vibration del picosatélite HexaSat.

Conclusiones

1. Al comparar las especificaciones de la ECSS con los resultados obtenidos en la Random Vibration, se obtiene que el picosatélite HexaSat no cumple con la norma, puesto que se estipula que se debe tener valores comprendidos entre 3 y -3 dB y los resultados obtenidos son de 6 y -6 dB, aunque la aprobación dependerá de la autoridad encargada del lanzamiento del picosatélite.

2. Se diseñó un banco que alcanza una fuerza electromagnética de 90 N, lo suficiente para trabajar con los picosatélites HexaSat de entre 0,1 y 1 kg de peso.

3. La frecuencia natural del banco de vibraciones es de 812 Hertz, obtenida en el software ANSYS y se observa que la amplitud va aumentando hasta llegar a la frecuencia natural y luego vuelve a disminuir.

4. El elemento más crítico analizado es el plato vibratorio, ya que al ser el elemento móvil se encuentra sujeto a los desplazamientos más amplios y riesgosos, como resultado se obtiene una amplitud de $9,31 \times 10^{-4}$ metros a la frecuencia natural.

5. Se puede utilizar un elemento con menor rigidez y de igual resistencia que el utilizado en el plato vibratorio para obtener menor

esfuerzos y mejorar el diseño y duración del banco.

Bibliografía

- ANSYS, Inc. (2013). ANSYS Fluent User's Guide. USA.
- Baren, J. V. (February 2012). Random Vibration Testing. *Sound & Vibration*, 12.
- ECSS. (2012). *The European Cooperation for Space Standarization*. Recuperado de <http://www.ecss.nl/>
- ITU, U. I. (2012). *Reglamento de Radiocomunicaciones y Recomendaciones*. Recuperado de <http://picosatellites1.blogspot.com/>
- Kim, N.-H. (2015). *Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis*. Springer.
- NASA. (2009). *FEMCI NASA The Book*. Recuperado de Finite Element Modeling Continuous: <http://femci.gsfc.nasa.gov/femcibook.html>.
- Rao. (2012). *Vibraciones Mecánicas*. México: Prentices Hall Pearson Education .
- Reitz, M. C. (1996). *Fundamento de la Teoría Electromagnética*. EUA: Iberoamericana S.A.
- Smallwood, H. P. (2002). *Harris' Shock and Vibration Handbook*. California: McGraw-Hill Companies.

CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA EN MATERIALES DEL SECTOR MARÍTIMO

Israel Terán Lozano

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, Manta, Manabí, Ecuador. Correo: israel.teran@uleam.edu.ec /+593996482244

Holger Ochoa Lucas

Estudiante egresado de la carrera Ingeniería en Mecánica Naval, ULEAM, Manta, Manabí, Ecuador

Correo: hantoxl204@gmail.com /+593996253977

Leyber Intriago Vera

Estudiante egresado de la carrera Ingeniería en Mecánica Naval, ULEAM, Manta, Manabí, Ecuador

Correo: leyber_95@hotmail.es /+593987766888

Resumen

La investigación tiene como objetivo el diseño y construcción de una cámara de niebla salina basada en los parámetros establecidos por la norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión acelerados. Busca conseguir una herramienta capaz de simular la exposición de un material durante varios años al ambiente o a la intemperie en un tiempo sumamente pequeño. Su funcionamiento consiste en exponer un material a un ambiente cálido-húmedo y altamente salino. La cámara está destinada para la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval de la ULEAM con miras a la realización de ensayos corrosivos en materiales empleados en la industria naviera, sin descartar que la misma pueda ser utilizada por estudiantes de otras carreras que deseen investigar acerca de la corrosión en materiales metálicos y recubrimientos.

Palabras claves: Corrosión, corrosivo, materiales, naval, niebla salina.

SALINE FOG CHAMBER FOR ACCELERATED CORROSION TESTS ON MATERIALS USED IN THE SHIPPING INDUSTRY

Abstract

The research aims at design and construction of a saline fog chamber based on the parameters established by ASTM B-117 for accelerated corrosion. It seeks to obtain a tool capable of simulating the exposure of a material for several years to the environment or the weather in a very small time. Its operation consists of exposing a material to a warm-humid and highly saline environment. The chamber is intended for the ULEAM Naval Mechanics Engineering career with the aim of performing corrosive tests on materials used in the shipping industry, without ruling out that it may be used by students from other majors who wish to investigate the corrosion in metallic materials and coatings.

Key words: Corrosion, corrosive, materials, naval, saline fog.

Introducción

El problema más común en los aceros utilizados en las industrias y flotas marinas es el causado por el deterioro generalizado de la corrosión con el paso de los años. La corrosión causa miles de millones de dólares en daños a infraestructura y productos cada año. Degrada las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, especialmente metales. Dicho deterioro puede incluir la pérdida de fuerza, apariencia y permeabilidad a los líquidos y gases, con lo que nace la necesidad de utilizar aceros y revestimientos adecuados para resistir el ambiente marino al que están expuestos.

En 1914 el Ingeniero J.A. Capp; entonces director de la “National Bureau of standars”, reprodujo de forma acelerada la corrosión en ciertos

materiales, concluyendo que el agua de mar pulverizada corroía más rápido que el agua de mar en condiciones normales. Luego de varias modificaciones a la prueba en 1939 se creó la norma ASTM B-117. Durante la década de los 40 se utilizó esta prueba; sin embargo, se tuvo muchos problemas ya que la norma no definía ciertos parámetros y la interpretación de los resultados se hacía de acuerdo con la objetividad de los usuarios. (Schmiedl & Audelo, 2017).

La causa de la corrosión se debe a que los materiales, en su mayoría metálicos, comenzarán a oxidarse al estar expuestos a un clima o ambiente donde exista humedad y salinidad. Con esta consideración, el agua de mar es altamente agresiva debido a su gran contenido de sodio y cloro. Uno de los factores que influyen en la corrosión es que el agua salada tiene una mayor concentración de electrolitos y una conductividad muy alta ya que los rayos del sol son reflejados en ella. Otra de las causas de la corrosión es la provocada por los microorganismos existentes en aguas con alta concentración de sales propia de los mares y océanos, las más comunes son las denominadas “ferroquimiobacterias”. La corrosión conlleva a que el material pierda sus propiedades mecánicas de resistencia, impidiendo cumplir la función para la cual estaba destinado.

Con la intención de estudiar el comportamiento de los materiales empleados en el sector marítimo se busca diseñar y construir un equipo que permita la realización de ensayos normalizados de corrosión acelerada en ambiente salino para la determinación de propiedades fisicoquímicas (resistencia a la corrosión) de los materiales metálicos (ASTM, 2011). El ambiente interno de la cámara reproduce las condiciones agresivas de un entorno salino o del medio marino, tanto de manera estable como alternativa mediante la pulverización del agua salina.

El desarrollo del presente proyecto es de fundamental importancia debido a que se puede estudiar por medio de ensayos el comportamiento ante la corrosión de materiales en el sector marítimo, realizando pruebas

sobre metales con o sin recubrimientos, expuestos directamente a la niebla salina, lo que proporcionará a su vez a los ingenieros y estudiantes, información para minimizar el impacto perjudicial de la corrosión sobre los materiales en ambientes salinos. Por esta razón, se ha decidido que la cámara salina es la mejor opción para estudios de corrosión porque permite desarrollar una nueva modalidad de ensayo e inspección de los materiales en el sector marítimo, además que su uso facilita el estudio y los procesos que ayuden a disminuir la degradación de los materiales por corrosión, así como el uso de recubrimientos que contribuyan a evitar este efecto.

En los ensayos de niebla salina se desarrollará una prueba con diferentes tipos de materiales del sector marítimo que permitirá establecer el proceso ideal de operación y mantenimiento del equipo o herramientas sometidas al fenómeno de la corrosión. A futuro se espera construir una cámara de niebla salina para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval elaboren estudios acerca de los efectos de la corrosión sobre materiales sometidos a un ambiente salino, que podría también ser utilizada por estudiantes de otras carreras.

Desarrollo

De forma general, la corrosión puede definirse como la destrucción no intencionada, a partir de la superficie, de un cuerpo sólido (metálico o no), por ataque químico o electroquímico. En el caso de los metales es su paso del estado libre al combinado mediante un proceso, por ejemplo, la oxidación. (Cembrero, Ferrer, Pascual, & Pérez, 2015)

Lo que provoca la corrosión es un flujo eléctrico masivo generado por las diferencias químicas entre las piezas implicadas. Una corriente de electrones se establece cuando existe una diferencia de potenciales entre un punto y otro. Cuando desde una especie química se ceden y migran electrones hacia otra especie, se dice que la especie que los emite

se comporta como un ánodo y se verifica la oxidación, y aquella que los recibe se comporta como un cátodo y en ella se verifica la reducción.

El fenómeno de corrosión se extiende a todos los materiales debido a la intervención de agentes agresivos. Se llaman agentes agresivos a aquellos que producen la corrosión, estos pueden ser: la atmósfera, el agua de mar, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc.

Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos. El proceso de corrosión es natural y espontáneo.



Figura 1. Casco de una embarcación afectado por la corrosión.
Fuente: obtenido de www.cedinox.es.

Tipos de corrosión

Existen muchos mecanismos por los cuales se verifica la corrosión

De los diferentes tipos de corrosión que existen se deben tomar en cuenta dos tipos específicos que son los que pueden ocurrir al exponer un material dentro de la cámara de niebla salina, dándose el desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

Corrosión química: (ataque químico directo) se considera de los tipos de corrosión en los que no se presenta un flujo considerable de corriente a través del metal en distancias apreciables. Este tipo de ataque causa

una reacción uniforme en la superficie involucrada, produciendo una capa áspera o un agregado espesor también uniforme, que aumenta en razón directa, haciéndola más gruesa debido a la movilidad del metal a través de la película, hasta el metal, de ello depende tanto la temperatura como los agentes y el metal.

Corrosión electroquímica: El ataque electroquímico se evidencia por la localización de zonas anódicas (positivas) y catódicas (negativas), separadas una distancia medible, entre las cuales se da un flujo de electrones a través del metal. La corrosión de naturaleza electroquímica resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo que la humedad relativa deberá ser del 70%. Los electrones liberados fluyen a través del metal (conductor) hasta una zona catódica. (Bilurbina & Liesa, 2004)

Protección contra la corrosión

Se impide la corrosión cubriendo al metal que se desea proteger con una película adherente de un metal que no se corra.

La película puede ser construida con materiales variados: metálicos, inorgánicos u orgánicos.

Metálicos: el recubrimiento se puede proporcionar por inmersión en el metal fundido cuyo punto de fusión es menor que el que se protege, por atomización, por electrodeposición o por sinterización, siempre cuidando que el metal más activo sea el de la capa aplicada.

Inorgánicos: cuando se requiere una protección que simultáneamente proporcione una superficie lisa y fácil de limpiar, que a su vez pueda utilizarse a temperaturas mayores a los materiales orgánicos, con buena resistencia al desgaste, se manejan los materiales cerámicos. La desventaja que poseen es baja resistencia al impacto y algunos a los choques térmicos.

Orgánicos: abarcan las pinturas, barniz alcohólico, aceites secantes, aceites semisecantes y resinas (naturales y sintéticas). Es importante la limpieza de la superficie a recubrir y la temperatura de trabajo (debe ser menor a 100°C). (Dominighi, 2001)

Ensayos de corrosión

Los ensayos de corrosión permiten simular ambientes corrosivos extremos y conocer la durabilidad y resistencia de los materiales, ya que es vital para el diseño de un sistema o equipo. Por esta razón se implementan ensayos controlados de corrosión de acuerdo con el ambiente que se va a exponer.

Las formas de corrosión en forma general se pueden dividir en dos grandes grupos que son:

- Ensayos naturales

Las pruebas se efectúan en ambientes reales exponiendo los metales o aleaciones a las condiciones presentes en los procesos, con la desventaja de que los resultados son obtenidos en un largo periodo de tiempo. Entre los ensayos más importante se tiene:

- Ensayos en el agua o agua de mar
- Ensayos de suelo
- Ensayos de atmósfera
- Ensayos de laboratorio

Son métodos importantes para entender el comportamiento de los metales y aleaciones en diferentes ambientes corrosivos con la finalidad de acelerar los procesos de oxidación que se presentan con mayor frecuencia en el ambiente, ya que estos son los responsables de la mayoría de los daños en los metales. En el laboratorio no es posible tener en cuenta todas las variaciones, pues ello exigiría una cantidad considerable de ensayos. Entre los más importantes constan:

- Ensayo de niebla
- Ensayos de inmersión alterna
- Ensayos de inmersión continua
- Métodos electroquímicos

Norma ASTM B-117

La norma describe y detalla los parámetros y condiciones a tomar en cuenta al momento de diseñar y construir un equipo para crear y mantener un ambiente corrosivo que, en el caso de este, es la niebla salina. Esta norma ha sido frecuentemente utilizada como método estándar para ensayos de corrosión acelerada, el cual se emplea para medir la resistencia y calidad de los materiales y recubrimientos con la finalidad de utilizar el más apropiado dependiendo del ambiente y las condiciones en las que el material vaya a trabajar.

La norma no está orientada a la seguridad con su uso, es responsabilidad del usuario establecer la seguridad para su operación.

El aparato consiste en una cámara de exposición, un reservorio de solución salina, un suministro de aire comprimido (libre de aceites y partículas), una o varias boquillas atomizadoras, apoyos o porta probetas, elemento calefactor para calentar la cámara y medios de control.

Parámetros técnicos para el diseño de cámara de niebla salina

Los siguientes parámetros que se muestran a continuación son los especificados en la norma ASTM B-117, respecto a su operación y construcción:

- Los materiales de construcción deben ser inertes, con alta resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, maleable y lavable.
 - El equipo debe ser de fácil operación y mantenimiento.
 - El periodo de exposición o de funcionamiento del equipo será de 3 días, aunque también es recomendable un tiempo de 24 horas.

- La solución salina condensada no deberá gotear sobre cualquier probeta o espécimen.
- La temperatura en el área de exposición deberá ser de 35°C con una tolerancia de + 1,5.
- Las muestras deben limpiarse adecuadamente antes del ensayo.
- Las muestras deben estar colocadas entre 15° y 30° de la vertical y a la dirección principal de flujo de niebla.
- La cámara no debe tener un volumen menor de 0,4m³.
- La cámara tiene que ser hermética.
- La cantidad de niebla tiene que ser de 80cm² y que se recoja en el recipiente el condensado de 1 a 2ml por hora
- El suministro de aire debe estar libre de impurezas como, agua y aceite y la presión para atomizar la solución salina tiene que ser de 10 a 20psi.

Los componentes que se detallan a continuación son los principales y necesarios para el diseño y construcción de la cámara de niebla salina y su funcionamiento:

- Cámara o cabina debe ser construida de un material resistente a la corrosión, los cuales pueden ser de fibra de vidrio, vidrio, plástico.
- Techo o cubierta, consiste en una sola pieza con forma de “v” invertida con un ángulo de 90°, ayudando a que las gotas del condensado no caigan directamente sobre las probetas o especímenes.
- Termómetro, colocado en la parte superior de la cámara para controlar la temperatura de la misma.
- Calentador en la base, es una resistencia eléctrica utilizada para el calentamiento del interior de la cámara y debe estar hecha de un material resistente a la corrosión.
- Tanque humidificador, utilizado para dar humectación y elevar la temperatura al aire comprimido.

- Suministro de aire, se obtiene por medio de un compresor de aire. Este aire tiene que estar libre de impureza tales como; agua, sólidos y grasas. A este sistema se le incorpora un sistema de mantenimiento de aire (filtros)
 - Boquilla pulverizadora, es la encargada de hacer la mezcla del aire con la solución salina para obtener así la niebla salina, deberá ser resistente a la corrosión y durable.
 - Porta probetas, lugar donde se colocarán los especímenes a ensayar, por otro lado, tiene que ser construida de un material inerte no metálico, porque afectaría las piezas a ensayar.
 - Depósito interno de solución salina.
 - Depósito principal de solución salina, este abastecerá al depósito interno de la solución salina por medio de una válvula.
 - Drenaje y escape de niebla y condesado.
 - Torre de aspersion, como la boquilla de aspersion se encuentran en la parte inferior, esta torre ayudará a que la niebla se eleve o coja altura y en la salida tendrá un cono difusor para que la niebla se esparza uniforme dentro de la cámara.

Materiales y Métodos

Se realizaron ensayos de corrosión acelerada con 4 materiales comúnmente empleados en el sector marítimo. Sus composiciones químicas se describen en la Tabla 1.

- Acero 705 con un \varnothing 32mm x 8mm de espesor
- Plancha de acero estructural naval (ASTM A131) de 39x107mm y 4mm de espesor
- Plancha de acero inoxidable (AISI 304) de 32x106mm y 3mm de espesor
- Plancha antideslizante de aluminio de 36x114mm y 3mm de espesor

Tabla 1. Composición química de los materiales utilizados para el ensayo de corrosión.

COMPOSICIÓN QUÍMICA %											
	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Fe %	Cu %	Mg %	Zn %	Ni %	Cr %
Plancha de acero estructural naval (ASTM A131)	0.21	2.5	0.035	0.04	0.05						
Eje AISI 4340 (705)	0.34	0.6-0.8	0.04-0.3	0.002-0.03							
Plancha antideslizante de aluminio (ASTM A1060)		0.01			0.22	0.11	0.02	0.015	0.03		
Plancha de acero inoxidable (AISI 304)	0.08	2	0.04	0.03	1					8-10.5	18-20

Se prepararon las muestras limpiándolas con lija para eliminar cualquier tipo de impureza, se lavaron con diluyente para eliminar residuos de grasa, humedad, etc., y luego se dejaron secar. Las muestras fueron puestas en el interior del recipiente de exposición de niebla salina, colocadas a 90° sobre la horizontal, colgadas de soportes de madera. El recipiente se calentó a una temperatura de 35°C con una tolerancia de $\pm 2^\circ\text{C}$. La temperatura al interior del recipiente se logró a través del calentamiento indirecto de la cámara por medio de agua caliente a una temperatura determinada, calentada con la ayuda de una resistencia térmica a modo de lo que comúnmente se conoce como “*baño maría*”. La niebla pulverizada dentro de la cámara contenía una concentración del 5% de *ClNa*, para ello se mezclaron 9,5 litros de agua con 500g de sal de uso común.



Figura 2. Ensayo experimental a base de la simulación de un ambiente salino
Fuente: propia.

El prototipo de la *Figura 2* está construido de materiales comunes de bajo presupuesto. Para la cámara de exposición y el recipiente de solución salina se utilizó un recipiente transparente de plástico, mientras que para la mezcla del aire y la solución salina se utilizó una boquilla atomizadora de un nebulizador. Para el suministro de aire se utilizó un compresor de uso industrial, la presión de trabajo fue de 25 psi.

El ensayo se llevó a cabo en un periodo de 24 horas. Una vez realizado el ensayo se limpiaron las muestras por medio de un cepillo de acero para eliminar el óxido generado sobre las probetas ensayadas. Finalmente se procedió a pesar las muestras para poder determinar la pérdida de masa de cada uno de los materiales implicados.

Resultados

En el periodo de 24 horas en el que los materiales ensayados estuvieron sometidos a un ambiente salino con una temperatura de 35°C se pudo evidenciar que los materiales ferrosos fueron los más afectados por la corrosión, para los cuales el tipo de oxidación fue uniforme, mientras que en el caso del aluminio la corrosión presentada fue la del tipo por

picadura, pero en bajas proporciones.

A pesar de no controlar algunas variables establecidas por la norma como; la humedad de la cámara, un suministro de aire libre de impurezas y el volumen de la cámara de exposición, en el prototipo construido se obtuvieron muy buenos resultados en un tiempo muy corto.

Tabla 2. Valores de pérdida de masa de las muestras ensayadas.

ENSAYO SIMULADO I				
TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	P E S O INICIAL (gr)	P E S O F I N A L (gr)	PERDIDAS (gr)
35°C ±2	PLANCHA NAVAL (ASTM A131) 39 x 107 mm y 4.00 mm de espesor	128,99	128,82	0,17
	ACERO 705 Ø 32 mmx 8 mm de espesor	48,19	48,05	0,14
	ACERO INOXIDABLE (AISI 304) 32 x 106 mm y 3.00 mm de espesor	75,12	75,11	0,01
	ALUMINIO 36 x 114 mm y 3 mm de espesor	33	32,97	0,03

La plancha naval y el acero 705, fueron los materiales que presentaron una corrosión considerable en comparación con los otros materiales. Dichos materiales presentaron un óxido de color rojizo, color característico de los materiales ferrosos y tuvieron una pérdida considerable de masa de 0,17 y 0,14 gramos respectivamente. Por otro lado el acero inoxidable casi no presentó pérdida de masa ya que posee una composición química alta de cromo y níquel, lo cual permite que el metal tenga una alta resistencia a la corrosión. En el caso del aluminio, que es un metal no

ferroso, el color característico del óxido producido fue de color blanco y su pérdida de masa fue mínima. En la *Tabla 2* se puede observar los valores de pérdida de masa de los diferentes materiales ensayados a una temperatura de 35°C en un periodo de 24 horas, mientras que en la *Tabla 3* se muestran los resultados físicos del ensayo experimental.

Tabla 3. Muestras del antes y después del ensayo.

	Plancha de acero estructural naval (ASTM A131)	Eje AISI 4340 (705)	Plancha antideslizante de aluminio (ASTM A1060)	Plancha de acero inoxidable (AISI 304)
Antes				
Despues				

Conclusiones

1. Se establecieron los parámetros y factores que deben considerarse en un ensayo de corrosión acelerada mediante el concepto de cámara de niebla salina, así como los procedimientos y la metodología a seguir para la realización de este tipo de ensayos.
2. Se evidenció la pérdida de masa y la velocidad de corrosión en cada uno de los materiales ensayados, por lo que el prototipo de cámara de niebla salina construido permite obtener corrosión en las probetas

durante las 24 horas del ensayo realizado.

3. Se corroboró que el acero inoxidable y el aluminio fueron los dos materiales menos afectados por la corrosión y por ende presentaron menor pérdida de masa; mientras que la plancha naval y el acero AISI 705 fueron los más atacados por la corrosión debido a su composición ferrosa y a que no poseen un recubrimiento o una aleación que ayude a combatir este fenómeno.

Bibliografía

- Arias, C., Calvo, E., & Ochoa, J. (2007). Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión. *Scientia et Technica*, XIII(36), 659-664. Recuperado el 30 de 01 de 2018
- ASTM. (2011). ASTM B-117 (Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus). *ASTM Internatinal*, 1-12.
- Bilurbina, L., & Liesa, F. (2004). *Corrosión y protección*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Casallas, Q. (s.f.). Conceptos básicos de la corrosión. Bogotá, Colombia. Recuperado de www.unilibre.edu.co
- Cembrero, J., Ferrer, C., Pascual, M., & Pérez, M. (2015). *Ciencia y tecnología de materiales: problemas y cuestiones*. Valencia, España: Pearson Educación S.A.
- Dahbura Ramos, L. (2012). *Diseño y Construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión*. Tesis, Universidad de el Salvador, San Salvador.
- Dominighi, P. L. (2001). Protección contra la corrosión. 1-6.
- Schmiedl, E., & Audelo, F. (2017). Diseño y construcción de una cámara de niebla salina mediante la norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión para la carrera de Ingeniería química de la ESPOCH (tesis de grado). Riobamba, Ecuador.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DIALIZADORA DE ACEITES HIDRÁULICOS

Luis Aragundi Cuadros

Ingeniero: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
Portoviejo - Ecuador 130105, teléfono 0982226822
Correo: aragundi1755@hotmail.com

Jeniffer Flores Toala

Ingeniera: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
Portoviejo - Ecuador 130105, teléfono 0984181419
Correo: mous_1495@hotmail.com

Jonathan García Mejía

Ingeniero: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
Chone - Ecuador 130301, teléfono 0993735606
Correo: jgarciamn591@gmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es diseñar y construir una máquina dializadora de fluidos hidráulicos de fácil operación, para proveer a los diferentes sectores industriales una herramienta que disminuya los gastos, elimine las partículas sólidas y así prolongue la vida de estos fluidos hidráulicos. Los datos y conocimientos para desarrollar esta máquina fueron adquiridos en los diferentes sectores donde se usa el fluido oleohidráulico ya sean como mecanismo de fuerza o de precisión. Los diferentes tipos y modelos que existen en otros países han servido para recopilar, rediseñar, adaptar, implementar y mejorar los resultados obtenidos y al mismo tiempo encontrar un mejor diseño para su construcción. La dializadora de aceite hidráulico se diseñó bajo estrictos criterios técnicos, ambientales y económicos, por lo que

sería de gran aporte incluirla en los planes de mantenimientos de los diferentes sectores industriales. Como resultado se utilizó un sistema hidráulico y mecánico simple en la construcción de esta máquina, éste sistema realiza una succión directa del depósito, mediante una bomba hidráulica, impulsada por un motor monofásico que permite que el fluido recorra a través de la cañería de sistema para atravesar por un conjunto de filtros colocados en serie, ubicados estratégicamente para obtener una gran eficiencia y eficacia al momento de dializar. El sistema de la dializadora de aceite hidráulico es controlado por medio de un sistema eléctrico básico de marcha/paro. El proceso del dializado finaliza cuando el fluido se descarga a un depósito independiente o vuelve al lugar de donde a sido succionado.

Palabras clave: Construcción, dializado, hidráulica, viscosidad, mantenimiento.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HYDRAULIC OIL DIALIZING MACHINE

Abstract

The objective of designing and building an easy-to-operate hydraulic fluid dialyzer machine is to providing to the different industrial sectors with a tool that reduces costs, eliminates solid particles and prolongs their life. The data and knowledge to develop this machine were acquired in the different sectors where the oleohydraulic fluid is used as a force or precision mechanism. The different types and models that exist in other countries have served to collect, redesign, adapt, implement and improve the results obtained and at the same time find a better design for its construction. The hydraulic oil dialyzer was designed under strict technical, environmental and economic criteria, so it would be a great contribution to include it in the maintenance plans of the different

industrial sectors. As a result, a simple hydraulic and mechanical system was used in the construction of this machine, this system performs a direct suction of the tank, by means of a hydraulic pump, which is driven by a single phase motor making the fluid travel through the system pipeline to go through a set of filters which are placed in series, strategically located to obtain great efficiency and effectiveness at the time of dialysis. The hydraulic oil dialyzer system is controlled by means of a basic electric start / stop system. The dialysate process ends when the fluid is discharged to an independent reservoir or returns to the place from where it was sucked.

Keywords: Structure, dialysate, hydraulics, viscosity, maintenance.

Introducción

Los oleohidráulicos que se drenan de las máquinas, ya sea porque ha terminado su vida de servicio o porque se hallan contaminado con agua, gases, o con partículas sólidas y metálicas, en la mayoría de las empresas industriales es un gran problema, porque las aplicabilidades de las normas ambientales son cada vez más estrictas e impiden que se quemem, se viertan a los afluentes o en la tierra.

Por esta razón es de prioridad que las empresas industriales incluyan dentro de sus programas de lubricación, el mantenimiento a los aceites que se encuentran trabajando en las máquinas y el manejo responsable de los desechos de los mismos.

Es muy importante distinguir entre reacondicionamiento y recuperación de un aceite, normalmente estos dos términos se identifican como uno solo dando lugar a que en la práctica mediante procesos físicos se trate de recuperar aceites minerales que están completamente oxidados. Se debe tener muy claro el qué hacer con un aceite que se encuentra trabajando en una máquina, y finalmente cuando se desecha, cuáles son las acciones que se deben efectuar.

El presente estudio describe un método para incrementar la vida útil de los aceites hidráulicos, y de esta manera disminuir el desgaste de los elementos del sistema hidráulico. Para esto se debe conocer el sistema y aceite con el cual se trabaja, cuales son los principales agentes contaminantes al que está expuesto el sistema y los problemas que estos pueden causar.

Se conoce que las mayorías de las fallas en los sistemas hidráulicos son producidas por la contaminación del aceite ya sea con humedad, polvo, partículas de desgaste y otros materiales extraños. Cuando el aceite se contamina, las piezas se desgastan más rápidamente, necesitan más mantenimiento y hay que reemplazarlas en intervalos más cortos. También tienen una mayor tendencia a la avería, lo cual puede parar una máquina súbita e inesperadamente. Esto se traduce en mayores costos de operación y mantenimiento.

Los fluidos hidráulicos son el corazón de cualquier equipo industrial mecánico. El aceite debe de ser constantemente purificado, analizado y en algunas ocasiones reemplazado según sea el caso. A pesar de todo esto, las compañías aún sufren tiempo de inactividad y pérdidas; donde equipos principales como bombas, válvulas, cilindros y sellos necesitan ser reemplazados.

Dado que este trabajo se centra en la hidráulica, su funcionamiento, y los fluidos que intervienen, resulta fundamental tener en cuenta las definiciones que aquí se presentarán.

Antecedentes

Unos de los problemas más grandes en la actualidad de las industrias, es el consumo excesivo de aceites y el gasto que genera el desecharlo correctamente, A pesar de existir métodos para que esto cambie, estos no resultan ser la mejor opción, ya sea por el costo o por la poca información que se tiene para regenerar el oleohidráulico, por lo que resulta urgente

encontrar soluciones para reducir estos consumos, disminuir gastos y descender índices de contaminación.

Las industrias que han adquirido este método, han demostrado lo útil y beneficioso que puede ser implementarlo, evitando gastar dinero en cambios de aceite o pagando para que el aceite sea desechado de manera legal.

Ya que necesariamente el fluido oleohidráulico es un elemento fundamental en los sistemas hidráulicos y son el medio para la transferencia de energía en los mismos deben de mantenerse en óptimas condiciones sus características, alcanzando así un alto rendimiento.

Es por este motivo que al diseñar y construir dicha máquina (dializadora de aceite) se conseguirá alargar su vida útil, y de esta manera contribuiremos a reducir el impacto ambiental (flora, fauna, mar y ríos), siendo esta diferente por su costo de adquisición.

Dentro de cada empresa o industria, durante años la solución que se ha dado con respecto al de qué hacer con el aceite que ya fue utilizado para diversos servicios (los cuales han perdido sus propiedades y características para seguir lubricando un sistema), ha sido la de entregar estos aceites a empresas competentes para su respectivo reciclamiento, evitando así la contaminación que se tendría al dejarlos expuestos al ambiente.

¿Se logrará prorrogar la vida útil de los aceites hidráulicos mediante la eliminación de contaminantes del fluido oleohidráulico, por medio de la implementación de una máquina dializadora de aceite?

En virtud de los elevados costos que conlleva el mantenimiento de daños producidos en las maquinarias donde intervienen los sistemas hidráulicos, sean estos daños naturales como: el fluido cumplió su vida útil y no se reemplazó o falló una de las partes internas del sistema, conllevando a la contaminación de dicho fluido; o los daños producidos por la mano del hombre al intervenir en el sistema de forma errónea.

A partir de estos inconvenientes surge la necesidad de crear una

máquina o sistema con bajo costo de construcción, económicamente factible y autosustentable, que nos ayude a disminuir o solucionar estos inconvenientes.

La máquina dializadora constituye una de las alternativas más atractivas, ya sea por su bajo costo de implementación o por su alta efectividad del sistema al eliminar los contaminantes presentes en los fluidos que afectan su rendimiento y muchas veces ocasionando daños severos, de igual manera aportamos a disminuir la contaminación de medio ambiente ya que muchas industrias y talleres no se deshacen adecuadamente de los fluidos oleohidráulicos.

El objetivo general de este trabajo es diseñar y construir una máquina dializadora de aceites hidráulicos sencilla, eficiente y de fácil transporte que permita reutilizar y extender la vida útil de los aceites utilizados en los diferentes sistemas hidráulicos.

Desarrollo

Concepciones Teóricas

Según Quispe (2013) uno de los sistemas más sencillos para la transmisión de grandes fuerzas a través de los fluidos a una presión determinada se llama hidráulica, que viene a ser la aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería como en maquinaria pesada, para diseñar y construir mecanismos que funcionan con cualquier clase de líquidos, habitualmente agua o aceite. En la hidráulica encontramos soluciones a cuestiones de flujo en conductos o canales abiertos además del diseño de presas de embalse, bombas y turbinas.

Como explica JabaScribd (2010) la oleohidráulica, es la transmisión, control de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión, por lo general los fluidos son aceites minerales.

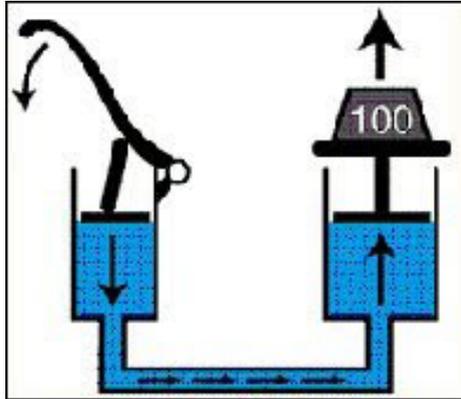


Figura 1. Principios Básicos De La Hidráulica. Tomado de (Sehidra, 2010).

Para diferenciar estos dos conceptos se debe conocer que la Hidráulica engloba un sentido más extenso al concluir que en general trabaja con fluidos y la oleohidráulica específicamente se refiere a trabajos con aceites.

Principales Componentes de los Sistemas Hidráulicos.

Como explica Ferrero (2011) los sistemas hidráulicos se componen básicamente de los siguientes elementos:

- Tuberías. - Dependiendo de la aplicación y de la presión para la cual estén diseñados pueden ser metálicas con tubos rígidos conformados a la medida o bien latiguillos de goma con una o varias capas de alambres de acero trenzado en su interior.
- Bombas. - De acuerdo al diseño del sistema, aplicación o presupuesto las bombas pueden ser: bombas de engranajes, bombas de paletas y bombas de pistones.
- Válvulas. - Las válvulas son elementos fundamentales en los sistemas hidráulicos, ya que son las que controlan los flujos de aceite para dirigirlos hacia el lugar conveniente en cada momento. En estos sistemas se pueden encontrar con varios tipos de válvulas tales como;

válvulas de retención, reductoras de presión, de seguridad, compensadoras, pilotadas, anti retorno, combinadas, etc.

- Depósitos. - Al hablar de depósitos se refiere al lugar donde se almacena el fluido, algunos permanecen presurizados en su interior durante el funcionamiento de la máquina con que favorece la descarga de aceite hacia las bombas, y existen otros con respiradero que no mantienen presión en su interior.

- Cilindros. - Como explica Luna (2009) están formando por un émbolo o pistón operando dentro de un tubo cilíndrico. Estos cilindros actuadores pueden ser montados de dos formas posibles una donde el cilindro esté anclado a una estructura fija o inmóvil y el émbolo se fija al mecanismo que se accionará.

- Motores. - Son generalmente de corriente alterna están diseñados para funcionar a velocidades fija.

- Filtros. - Acorde a lo que muestra Clarcor Company (2014) su función principal es remover los contaminantes presentes en el fluido con el cual estamos trabajando y a su vez proteger los componentes del sistema hidráulico contra el desgaste prematuro. Existe una gran variedad de tipos de filtros ubicados en diferentes puntos a lo largo de sistema, es importante notar que no todos estos filtros se utilizarían típicamente en un sistema.

- Filtros en el lado de succión: ubicados antes de la bomba hidráulica, cuya función es proteger a la bomba contra contaminantes presenten en el fluido dentro del depósito.

- Filtros en el lado de presión: ubicado después de la bomba hidráulica, estos filtros están diseñados para limpiar el fluido en un alto porcentaje de las partículas más pequeñas que salen de la bomba y de esta manera proteger los componentes más sensibles del sistema como las válvulas de control y actuadores.

- Filtros en el lado de retorno: están diseñado para eliminar las

partículas de desgaste de tamaño común que puedan ser producidas por los componentes de estos sistemas.

- Filtros fuera de línea: Independientemente del sistema hidráulico, estos filtros se utilizan para realizar una limpieza extra al fluido antes de que entre al sistema hidráulico.
- Filtros de aireación dentro del tanque: Situado en el depósito, este filtro puede usarse para impedir la entrada de humedad y contaminantes al depósito.

Aceites o Fluidos Hidráulicos

Como explica Marreros (2014) los aceites hidráulicos, comparten las características generales de los aceites: son insolubles en agua y poseen menor densidad que ésta, son conocidos como fluidos oleohidráulicos, aunque su nombre podría sugerir una relación estrecha con el agua, en realidad no es así.

Los aceites hidráulicos cuya función principal es la de transmitir la potencia que se genera al interior de un motor mediante una bomba hacia cada uno de los componentes del sistema. Además de su función principal cumplen otras funciones complementarias como son la de lubricación de partes móviles, enfriamiento o disipación de calor, sellar los espacios libres entre elementos, protección anticorrosiva y limpieza del mecanismo.

- Transmitir potencia: esta función la puede realizar cualquier fluido (excepto los gases por ser compresibles), teniendo en cuenta que posean la viscosidad adecuada para actividad que se va a realizar.
- Lubricar las partes en movimiento: la razón por la cual se dejó de usar el agua en los circuitos hidráulicos es porque esta no cumplía con la misión de lubricar las partes en movimientos como los fluidos oleohidráulicos.
- Disipar calor o refrigerar: mantener estable la temperatura del

conjunto durante el normal funcionamiento del equipo es esencial.

- Sellar los espacios libres entre elementos: el fluido hidráulico debe ubicarse entre los espacios existentes dentro del sistema como, por ejemplo: cilindro-émbolo o pistón.

Propiedades

A continuación, conforme Reyes (2011) las propiedades más importantes requeridas en un aceite hidráulico.

- Viscosidad: es de gran importancia, varía de acuerdo a la temperatura de trabajo, cuando se calienta el aceite se vuelve menos viscoso y a medida que es enfriado se torna más espeso, por esta razón es de suma importancia que el aceite posea la viscosidad apropiada a la temperatura de trabajo, y esta a su vez debe de ser la adecuada para lubricar elementos móviles que usualmente están diseñados con tolerancias estrictas

- Índice de Viscosidad: Como se ha venido recalcando, en la práctica a que tener en cuenta la variación de las características de la viscosidad con relación a la Temperatura, estas variaciones se expresan a través de índice de viscosidad (VI, Viscosity index), este se calcula de acuerdo a la DIN ISO2909.

A mayor VI menor variación de la viscosidad, con cambio de la temperatura. Por lo tanto, cuando el sistema hidráulico presenta amplias variaciones de temperatura, se debe elegir aceites de alto VI, y de esta forma mantener un rango de viscosidad óptimo a todas las temperaturas de operación.

- Estabilidad a la oxidación: su importancia es comparable a la viscosidad. Cuando se habla de la resistencia del aceite a las deterioraciones químicas que se producen cuando se encuentra en presencia de aire, manifestándose generalmente en la formación de lodos perjudiciales nos referimos a esta propiedad.

- Punto de escurrimiento: en un aceite es la más baja temperatura a la cual escurre el mismo, esto quiere decir, que cuando la temperatura ambiente o la temperatura inicial es baja, se debe tener la seguridad de que el aceite fluirá y alimentará adecuadamente la succión de la bomba.
- Demulsibilidad: en ocasiones se presenta agua en pequeñas proporciones en estos sistemas, la cual es producida por la condensación de la humedad ambiente. El lubricante que posea esta propiedad en alto porcentaje, resistirá la formación de emulsión con el agua, separándose rápidamente de la misma, para ser evacuada mediante la llave de drenado ubicada en el fondo del depósito, ya que por su efecto corrosivo del agua sobre los metales ocasionaría mucho daño en el sistema hidráulico.
- Resistencia a la formación de espuma: la formación de espuma generalmente se produce por: batido excesivo del mismo en presencia de aire que se ha filtrado en el sistema o colocación incorrecta de la línea de retorno, que sería la descarga al depósito por encima del nivel de aceite.
- Ataque a las gomas de los retenes: la mayoría de los sistemas hidráulicos están equipados con retenes de goma y el efecto que este tienen sobre ellos es complejo.

Funcionamiento y Materiales

Principio de funcionamiento de una dializadora

Este es un proceso físico, que se lleva a cabo utilizando un equipo móvil tipo dializador, refinadora o de termovaciación de fluido oleohidráulico, el cual permite des-humidificar y filtrar el aceite usado o contaminado obteniendo metas de limpieza y control de contaminación presentes en los lubricantes hasta llegar a un rango estimado de limpieza según ISO 4406-99.

Este rango de limpieza se obtiene al pasar el aceite por un número indeterminados de filtros captadores de impurezas, tanto sólidas como

líquidas. En muchos sistemas aparte de los cartuchos de filtración se apoyan con sistemas de centrifugado o cámaras de vacío.

La continua remoción de la humedad y contaminación por partículas a través del elemento filtrante, reducirá significativamente la existencia de bloques químicos, físicos y catalíticos necesarios para la formación de ácidos, manteniéndose el TAN y el grado de contaminación ISO, dentro de los valores recomendados. Al final de este proceso de diálisis, el aceite queda en óptimas condiciones para ser utilizado en la misma aplicación donde ya venía siendo utilizado y con un porcentaje de vida igual o mayor al que tenía al iniciar el proceso de diálisis.

Ventajas y Desventajas de las Máquinas Dializadoras

Ventajas:

- Elimina la mayor causa mecánica de baja viscosidad en el aceite.
- Extiende la vida de los preservadores de la viscosidad (aditivos) añadidos por los fabricantes del aceite.
- Reduce el desgaste abrasivo en bombas y puntos de desgaste de cilindros hidráulicos, eliminándolos antes de que ellos puedan acumularse y causar daño a estos componentes.
- La ampliación en los intervalos de cambio de aceite.
- Ahorros en compra de aceite nuevo.
- Disminución del desgaste de los componentes móviles.
- Reducción del tiempo de paralización del sistema hidráulico.
- Fortalece de la película lubricante, que evitará que superficies críticas queden vulnerables al desgaste y a la corrosión.
- Reducción de la aceleración del proceso de oxidación producida por el agua.
- Mantenimiento del TAN en niveles aceptables.

Desventajas:

- Movilización de la máquina dializadora a lugares de difícil acceso.
- Costos elevados del elemento filtrante (filtros).
- Alimentación eléctrica de la dializadora de Aceite Hidráulica.

El filtro hidráulico es el componente principal del sistema de filtración de una máquina hidráulica, de lubricación o de engrase. Estos sistemas se emplean para el control de la contaminación por partículas sólidas de origen externo y las generadas internamente por procesos de desgaste o de erosión de las superficies de la maquinaria, permitiendo preservar la vida útil tanto de los componentes del equipo como del fluido hidráulico.

El objetivo del elemento filtrante o filtro hidráulico es extraer la mayor cantidad de contaminantes perjudiciales de la corriente de fluido hidráulico que pueden causar daños a los componentes internos del sistema.

A medida que el aceite pasa a través del elemento del filtro, los contaminantes quedan atrapados, y el aceite limpio continúa a través del sistema. La efectividad de limpieza del fluido depende del micraje de filtro que se utilice a menor micraje mayor porcentaje de limpieza.

Modelo Operativo

La técnica a utilizar es la micro filtración del orden μm . Esta permite lograr una filtración eficiente y constante del aceite. El sistema consta de cuatro refinadoras colocadas en serie pasando en primer lugar por el filtro de agua y luego por los separadores de partículas sólidas ubicadas de mayor a menor micraje, para evitar la saturación de los filtros.

Este sistema funciona en forma independiente, succionando el fluido directamente del depósito mediante una bomba la cual es impulsada por un motor eléctrico, permitiendo al fluido hacer una recirculación por el sistema de filtración y descargándolo en el mismo o diferente depósito

según el requerimiento.

El primer paso fue analizar el nivel de limpieza que se requería para el sistema de filtración, a continuación, se adquirió los filtros de acuerdo con las características requeridas, de los que se tomaron las medidas para fabricar las cabezas de los filtros.

Una vez analizado que el aluminio tiene mejores propiedades que hierro dulce tales como: Ligereza, resistencia a la corrosión, maleabilidad y punto de fusión más bajo, que son requeridas para la elaboración de las cabezas de filtro, se procede a la fundición de forma artesanal de cilindros macizos para luego mediante el maquinado obtener como producto final las cabezas o porta filtros.

Seguidamente se procedió a realizar los cálculos hidráulicos, mecánicos, eléctricos y estructurales de la máquina los que ayudaron a la selección de los diferentes elementos y accesorios necesarios para este sistema.

Cálculos Hidráulicos

Para poder realizar un dimensionamiento correcto de la bomba, se necesita calcular la presión total que produce el sistema de filtración, considerando las pérdidas por tuberías y accesorios.

H_a = Cabezal total requerida (m).

H_p = Perdidas de carga por tuberías y accesorios (m).

H_{Δ} = Diferencia de altura al que va ser bombeado el fluido (m).

H_{filtro} = Perdida de carga causada por los filtros (m).

Q = Caudal (m^3/seg).

f = Coeficiente de fricción (adimensional).

D = Diametro interno de la tubería (m).

V = Velocidad del fluido (m/seg).

ν = Viscosidad cinematica del aceite RANDON® HDZ 22 (m^2/seg)

L_c = Longitud de la tubería mas la longitud equivalente. (m).

L_t = Longitud de la tubería (m).

L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios. (m).

Cálculo de Pérdidas por Tuberías y Accesorios

Ecuación de “Bernoulli”.- La ecuación de Bernoulli o principio de Bernoulli, expresa el comportamiento del líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Fue mostrado por (Bernoulli, 1738) muestra que un fluido ideal, sin viscosidad ni rozamiento en circulación por un conducto cerrado, la energía que posee permanece constante en su recorrido.

$$H_a = H_p + H_{\Delta} + H_{\text{filtros}} \quad [1]$$

El cálculo de pérdidas se lo realiza por medio de:

Ecuación de “Darcy-Weisbach”.- Esta ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido.

$$H_p = 0,0826 * f * \left[\frac{Q^2}{D^5} \right] * L_c \quad [2]$$

Ecuación de Continuidad. -Es la expresión del principio de conservación de la masa líquida, el flujo de masa que pasa a través de una superficie cerrada S debe ser igual a la disminución, por unidad de tiempo, de la masa de fluido contenido en su interior. (Torres, 2011)

$$Q = A * V \quad [3]$$

Ecuación de Número de Reynolds. -El número de Reynolds (Re) es un número adimensional que se utiliza en mecánica de fluidos, fenómenos de transporte y diseño de reactores para caracterizar el movimiento de un fluido. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad [4]$$

Ecuación de Rugosidad Relativa. - El valor de la rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro, es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. Para caracterizar un tubo por su rugosidad resulta más adecuado utilizar la rugosidad relativa (ϵ), que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería. (Course_default, 2008)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D} \quad [5]$$

Ecuación de Flujo Laminar. - Se llama flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse

$$f = \frac{64}{Re} \quad [6]$$

Ecuación de potencia útil de la bomba hidráulica. - La potencia (P) de una bomba hidráulica es la relación entre la energía de flujo proporcionada por la bomba y el tiempo que la misma ha estado en funcionamiento para comunicar dicha energía, esta magnitud se suele

expresar como el producto de la presión del fluido por su caudal. (Catedu. es, 2012)

$$P_{\text{absorbida}} = Q \times \rho \times g \times H_{\Delta} \quad [7]$$

Ecuación de Suma de Longitudes

$$L_c = L_t + L_{eq} \quad [8]$$

Datos:

$$H_{\Delta} = 0,5 \text{ m}$$

$$Q = 30,28 \text{ (L/min)} = 8 \text{ (G/min)} = 5,05 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/seg)}$$

$L_{t1} = 1,5 \text{ m}$. Longitud de tuberías

$L_{t2} = 2 \text{ m}$. Longitud de mangueras

$$\emptyset_{\text{tubería}} = 0,0254 \text{ m.}$$

$$\nu_{@40^{\circ}\text{C}} = 22,5 \text{ CSt} = 2,25 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{/seg)}$$

Viscosidad Saybolt @38°C = 108 SUS

$$\rho_{\text{aceite hidráulico}} = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$\varepsilon = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$ (se utiliza el valor de rugosidad del hierro galvanizado).

Procedimientos

Se calcula la velocidad de fluido mediante la ecuación de la continuidad:

$$Q = A * V \quad [3]$$

$$5,05 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/seg)} = \frac{\pi * (0,0254 \text{ m})^2}{4} * V$$

$$V = 1,03 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)$$

Se calcula el número de Reynolds mediante la ecuación:

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad [4]$$

$$Re = \frac{0,025 \text{ m} * 1,03 \text{ m/seg}}{2,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}} = 1,144 \times 10^3$$

Se encuentra la rugosidad de las tuberías mediante la ecuación de rugosidad relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad [5]$$

$$\varepsilon_r = \frac{1,5 \times 10^{-4} \text{ m}}{0,025 \text{ m}} = 6 \times 10^{-3}$$

Debido a que el número de Reynolds es menor a 2000 el Diagrama De Moody indica que el fluido está en la zona de flujo laminar por lo que indica que el coeficiente de fricción sea calculado con la siguiente formula:

$$f = \frac{64}{Re} \quad [6]$$

$$f = \frac{64}{1,144 \times 10^3} = 0,056$$

Para encontrar las pérdidas de carga “Darcy-Weisbach”. Se encuentra la longitud total del recorrido:

$$L_c = L_t + L_{eq} \quad [8]$$

$$L_{t1} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{t2} = 2 \text{ m}$$

L_{eq} Se obtiene mediante la suma que resulta de multiplicar el número de elementos por la constante (K) correspondiente:

Accesorios:

- 1 válvulas de bola $\varnothing = 25 \text{ mm}$.
- 2 unión
- 7 codos de 90°
- 2 reducciones
- 1 te

- 1 manómetro

$$L_{eq} = L_{codo} + L_{válvula} + L_{unión} + L_{reductor} + L_{te}$$

$$L_{eq} = 0,9(7) + 10(1) + 0,08(2) + 0,1(2) + 0,9(1)$$

$$L_{eq} = 17,56$$

$$L_t = L_{t1} + L_{t2}$$

$$L_t = 1,5 + 0,002(2) = 1,504 \text{ m}$$

$$L_c = L_t + L_{eq}$$

$$L_c = 1,504 \text{ m} + 17,56 = 19,06$$

Con los valores obtenidos se resuelve la Ecuación de "Darcy-Weisbach"

$$H_p = 0,0826 * f * \left[\frac{Q^2}{D^5} \right] * L_c \quad [2]$$

$$H_p = 0,0826 * 0,113 * \left[\frac{\left(5,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} \right)^2}{(0,0254 \text{ m})^5} \right] * 19,06 \text{ m}$$

$$H_p = 4,64 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga por filtros se obtienen de la ficha técnica del filtro, donde muestra la curva de la pérdida de presión con respecto al caudal del housing y así mismo en esta se muestra una correlación para obtener la pérdida de presión que produce el elemento filtrante, se adjunta la ficha técnica. (Observar figura 2)

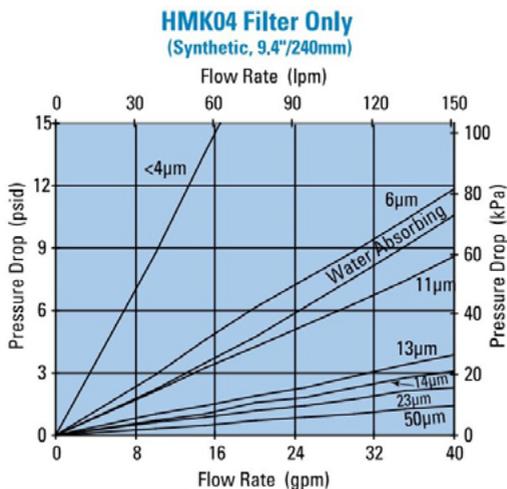


Figura 2. Gráfica de pérdidas presión vs caudal. Tomado de (Donaldson, 2017)

De acuerdo a la gráfica P vs. C se contiene la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de PSI & GMP.

Filtro (μm)	Tasa de Flujo (gpm)	Caída de Presión(PSI)
< 4	6 - 8	4.5 - 7
Water Absorbing	6 - 8	2 - 2.2
11	6 - 8	2 - 2.2
23	6 - 8	0.8 - 1

$$\Delta_{\text{housing1}} = 7 \text{ psi} = [0,47 \text{ bar}]$$

$$\Delta_{\text{housing2}} = 2,2 \text{ psi} = [0,15 \text{ bar}]$$

$$\Delta_{\text{housing3}} = 2,2 \text{ psi} = [0,15 \text{ bar}]$$

$$\Delta_{\text{housing4}} = 1 \text{ psi} = [0,07 \text{ bar}]$$

La pérdida de carga inicial se obtiene mediante la ecuación de Poiseulle:

$$H_{\text{filtro}} = \frac{\text{Presión} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times \rho \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \quad [9]$$

$$H_{\text{filtro}} = \frac{(0,47 + 0,15 + 0,15 + 0,07) \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 9,52\text{m}$$

Finalmente, la carga total requerida para el funcionamiento del sistema se calcula:

$$H_a = H_p + H_{\Delta} + H_{\text{filtros}} \quad [1]$$

$$H_a = 4,64 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 9,52\text{m}$$

$$H_a = 14,66 \text{ m}$$

La potencia absorbida se alcanza mediante la ecuación de la potencia útil:

$$P_{\text{absorbida}} = Q \times \rho \times g \times H_{\Delta} \quad [7]$$

$$P_{\text{absorbida}} = 5,05 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right) \times 900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 0,5 \text{ m}$$

$$P_{\text{absorbida}} = 2,23 \text{ Watt}$$

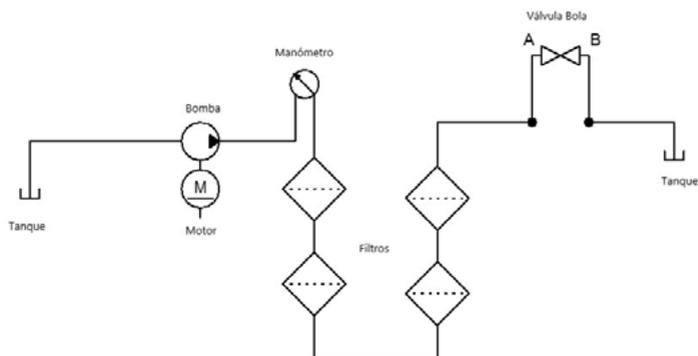


Figura 3. Esquema hidráulico de la dializadora de aceites.
Esquema Hidráulico.

Cálculos Eléctricos

Ecuación de potencia del motor. - El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia o, dicho de otro modo, la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo, o de pivote.

$$H_p = \frac{\text{gpm} \times \text{psi}}{1714} \quad [10]$$

$$H_p = \frac{8 \times 600}{1714} = 2,80$$

Para calcular el calibre del conductor que alimentara el motor monofásico aplicaremos la ley de watt:

$$P = V * I \quad [11]$$

Donde:

P = Potencia (watt)

I = Intensidad (A)

V = Voltaje (v)

Datos

$$P = 3\text{HP} = 2238 \text{ W}$$

$$V = 110/220$$

$$I = ?$$

Factor de Seguridad = 1,25

Procedimientos

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} \quad P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{2238\text{W}}{110\text{V}} = 20,35 \text{ A}$$

$$I = 20,35 \times 1,25 = 25,44 \text{ A}$$

Ya obtenida la intensidad que consume el motor se procede a buscar en la siguiente tabla el calibre que necesita el motor para su alimentación eléctrica:

Tabla 2.- Referencia de Conductores Eléctricos.

CORRIENTE NOMINAL (*) Amperios	SECCIÓN TRANSVERSAL			
	ALAMBRE DE COBRE		ALAMBRE DE ALUMINIO O DE ALUMINIO REVESTIDO DE COBRE	
	mm ²	AWG o Kcmil	mm ²	AWG o Kc
15	2.08	14	3.30	12
20	3.30	12	5.25	10
30	5.25	10	8.36	8
40	5.25	10	8.36	8

Debido que no existe cable para el valor de la corriente encontrada, se elige el cable de su inmediato superior que es el cable numero 10AWG.

Diagrama Unifilar

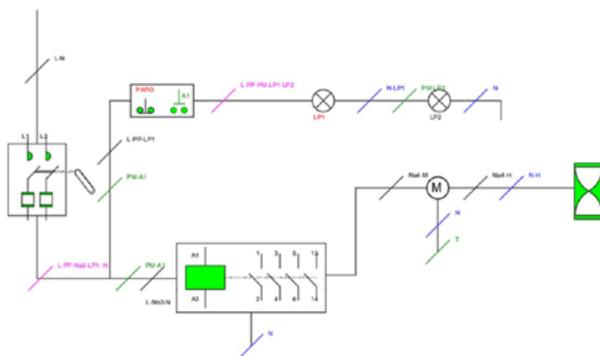


Figura 4. Diagrama de la distribución eléctrica de la dializadora de aceites.

Montaje y Ensamble de Piezas

Una vez adquirido todo lo necesario se procede al montaje y ensamble de la máquina que se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Construcción del coche para la movilización de la máquina.
- Montaje del motor eléctrico.
- Montaje y acople de la bomba hidráulica.
- Unión de las cañerías que transportar los fluidos.
- Ensamble de las cabezas de filtros.
- Acople de los filtros con cada uno de los portafiltros.
- Colocación de la llave de cierre rápido para la descarga.
- Colocación de la manguera en el lado de succión.
- Instalación de cada uno de los elementos eléctricos del sistema.
- Montaje completo de la máquina sin carcasa.

(Observar figura 5)

- Colocación de carcasa protectora de los elementos de la máquina.

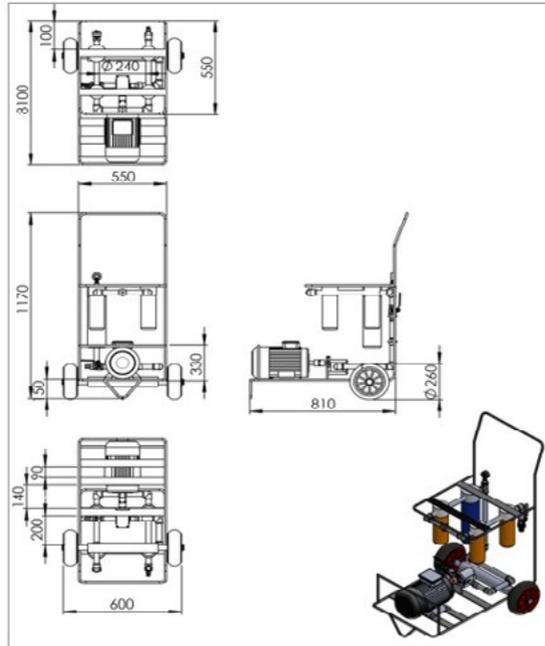


Figura 5.- Planos y vista de la estructura de la dializadora.

Especificaciones técnicas

- Dimensiones 0.81 x 0.55 x 1.17 m.
- Peso 80 Kg.
- Caudal 6 – 8 gpm.
- Estructura: Hierro estructural soldado.
- Refinadora (04) filtros roscables marca Donaldson de 4, 11, 23µm y un separador de agua.
- Bomba hidráulica marca, modelo AP20SR1FK, caudal máximo 9.18 gpm, acople entrada/salida Ø1in.
- Eléctrico monofásico de 4 polos, potencia 3Hp/2,20Kw, revoluciones 1740rpm, voltaje de 110/220V, capacitor 250v y 700uf.
- Tubo galvanizado de Ø 1 pulgada para la cañería.

Accesorios:

- Manómetro de glicerina de 0-3000 PSI, para control de presión del sistema.
- Horómetro legrand, para contabilizar las horas de trabajo.
- 1 válvulas de bola de cierre rápido de \varnothing 1in a la salida del sistema.
- Luces pilotos para el encendido.
- 5m de cable concéntrico 3x10 para la alimentación de energía
- Breakers de 60A para la protección del motor.
- Pulsador de marcha y paro.
- 2 ruedas rígidas de \varnothing 8in.
- 2m de manguera f100 para la adsorción.



Figura 6.- Dializadora de aceites hidráulicos.

Resultados y discusión

Análisis de resultado

Después de se llevó a cabo el proceso de dializado durante 75 minutos continuos del aceite hidráulico Mobil DT 27, que es un aceite antidesgaste de alto desempeño que atiende a los requerimientos de la DIN 51524-2: 2006-09. Y de acuerdo con código ISO que se obtuvo en

el análisis de ambas muestras del aceite tomada antes (muestra A) y después (muestra B) del proceso de dializado. (Observar Tabla 3.- Cuadro comparativo según muestras de dializado).

Muestra A

Por la cantidad de partículas sólidas encontradas en dicha muestra se puede observar que el fluido se encuentra en un ISO 25/24/16 (Observar Tabla 4.- Código de contaminación de partículas sólidas). De la misma forma este mismo código indicó que el fluido se encuentra en la clasificación de aceite muy contaminado (Observar Tabla 5. - Guía de la contaminación para sistemas de aceite hidráulico y de lubricación).

Tabla 3.-Cuadro comparativo según muestras de dializado.

Muestra A	Niveles en micrones	Muestra B
298650	Recuento de partículas (diluido)>4um	1118
95198	Recuento de partículas (diluido) >6um	287
362	Recuento de partículas (diluido)>14um	40

Tabla 4.- Código de contaminación de partículas sólidas.

Más de (part/ml)	Hasta e inclusive (part/ml)	Código ISO
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20,000	40.000	22
10.000	20,000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19

Más de (part/ml)	Hasta e inclusive (part/ml)	Código ISO
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8

Muestra B

Se observó una considerable disminución en el número de partículas sólidas encontradas en comparación con la muestra anterior, dicha disminución ubicó a esta muestra con un ISO 17/15/12. (Observar Tabla 3.- Código de contaminación de partículas sólidas). La mejora de las condiciones del aceite según el código de limpieza ISO clasificó esta muestra como un aceite ligeramente contaminado avalando la mejora de dicho fluido.

Tabla 5.- Guía de la contaminación para sistemas de aceite hidráulico y de lubricación.

Código ISO	Descripción	Apto para
ISO 14/12/10	Aceite muy limpio	Todos los sistema de aceite
ISO 16/14/11	Aceite limpio	Servo e hidráulicos de alta presión
ISO 17/15/12	Aceite ligeramente contaminado	Aceite de lubricación e hidráulicos estándar
ISO 19/17/14	Aceite nuevo	Sistema de media a baja presión
ISO 22/20/17	Aceite muy contaminado	No apto para sistema de aceite

Por otra parte, el aceite dializado es de grado ISO 100 con un índice de viscosidad normal de operación de 100 (mm² /s a 40°C y que permite un aumento o una disminución del 10% en su viscosidad.

En la muestra A (aceite sin dializar) se determinó una viscosidad 75.7 la que indica que este aceite no está apto para entrar en funcionamiento. Por otra parte, la muestra B (aceite dializado) arrojó una viscosidad 92.4 mostrando una mejora considerable, entrando en el rango de operación óptima de dicho fluido.

Además, otros valores en los que también se puede ver mejoramiento de fluido hidráulico son: el porcentaje de agua presente en el fluido, los niveles de oxidación y el número de partículas en metales específicos tales como: aluminio, cobre, hierro, cromo, níquel entre otros. (Observar Figura 7.- Análisis comparativo de los aceites contaminados y dializados).

			
Información de la cuenta		Información de la Muestra	
Tendencias y datos de muestra			
Sample Info	Report Status	Alert	Normal
	Service Level	Enhanced	Enhanced
	Tested Lubricant	MOBIL DTE 27	MOBIL DTE 27
	Reported	21 nov.2017	21 nov.2017
	Equipment UOM	.	.
	Oil UOM	.	.
	Volume UUM	.	.
	Filter Changed	.	.
	Temperature UOM	.	.
	Lubricant	Equipment Rating	Alert
		Caution	Normal
		Alert	Normal
Diluted ISO Code (4/6/14)		25/24/16	17/15/12
Particle Count (Diluted) >6um		95198	287
PQ Index		4	0
Wear(ppm)		75.7	0
	Oxidation (Ab/cm)	4	0
		0.192	
	Al (Aluminum)	9	0
	Cu (Copper)	24	8
Contaminant(ppm)		40	
	Mo (Molybdenum)	0	1
	Pb (Lead)	5	0
Additive(ppm)	K (Potassium)	0	1
	Si (Silicon)	8	1
Additive(ppm)	Ba (Barium)	0	0
	Mg (Magnesium)	218	1
	Zn (Zinc)	423	706

Figura 7.- Análisis comparativo de los aceites contaminados y dializados
Beneficios del Proceso de Diálisis.

- Garantizar que el aceite quede dentro de los estándares de limpieza especificados por las Normas ISO y ASTM.
- Eliminar el exceso de agua que pueda contener el aceite, aun cuando esta se encuentre en estado de emulsión.
- Reducir el impacto que tienen los aceites usados sobre el ambiente al desecharse un menor volumen de aceite.
- Permitir obtener aceites usados dializados con un TAN menor o un TBN mayor que el aceite contaminado.
- Reducir al máximo el desgaste erosivo y abrasivo en los mecanismos lubricados al eliminarle al aceite las partículas sólidas y metálicas, como el Si, Fe, Cu, Cr, Sn, Pb y Al, y los ácidos débiles como el SO₂ que se van formando en el aceite debido a su proceso de oxidación.
- Garantizar que los mecanismos lubricados alcancen o superen la vida de diseño.
- Garantizar que el aceite alcance una vida útil mayor que la especificada por el fabricante del aceite, reduciéndose de esta manera sustancialmente los costos de lubricación por consumo de lubricantes y mano de obra para el cambio de aceite.

Conclusiones

1. La máquina diseñada y construida en esta investigación permitió:
2. Diseñar y construir una máquina ligera y de fácil transporte con materiales económicos, con un sistema eficiente y eficaz al momento de eliminar partículas sólidas del fluido hidráulico.
3. Eliminar en un 80% las partículas sólidas perjudiciales de los fluidos hidráulicos, manteniéndolas en un rango permisible y no perjudicial para el sistema.
4. Obtener niveles de limpieza ISO 17/15/12, que no fue el objetivo planteado, pero sus resultados se asemejan en gran parte, permitiendo su utilización en aplicaciones similares.

5. Mejorar las características y propiedades del aceite hidráulico, prolongando su vida útil.

Bibliografía

- ASTM. (2011). ASTM B-117 (Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus). *ASTM Internatinal*, 1-12.
- Bernoulli, D. (1738). *Hidrodinámica*. Recuperado de biblioteca Jovellanos. Asturias, España.
- Catedu.es, E. (26 de Febrero de 2012). Recuperado http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/25_potencia_hidrulica.html
- Clarcor Company. (enero de 2014). baldwinfilter. Recuperado de <http://www.baldwinfilter.com/literature/Spanish/TechTips/201401TechTipsHydraulicFiltersS.pdf>
- Course_default. (02 de Diciembre de 2008). Ocwus. Recuperado de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_03.htm
- Donaldson. (2017). *Hydraulic Filtration*. Catálogo, Filtros Hidráulicos para maquinarias. En Donaldson, Minnesota.
- EDITORINGCIVIL. (2012). *Pérdidas Localizadas. Principios de la Hidráulica Que Necesitas Conocer: Las Pérdidas de Energía*. Colombia. Recuperado de ingenieriacivil.tutorialesaldia.com
- Ferrero, M. C. (10 de abril de 2011). slideshare. Recuperado de componentes-en-un-sistema-hidralico: <https://es.slideshare.net/margayllon/componentes-en-un-sistema-hidralico>
- JabaScribd. (12 de ABRIL de 2010). SCRIBD. Recuperado de Olehidráulica: <https://es.scribd.com/doc/29803418/oleohidraulica>
- Luna, A. (29 de octubre de 2009). scribd. Recuperado el 16 de agosto de 2017, de Tipos de Cilindros: <https://es.scribd.com/doc/21369437/>

TIPOS-DE-CILINDROS

- Marrerros, C. M. (26 de Noviembre de 2014). prezi. Recuperado de https://prezi.com/mbpk5huyc_of/hidraulica/
- Quispe, D. G. (29 de Agosto de 2013). Sistema Hidráulico. Cusco, Perú.
- Reyes, G. (Octubre de 2011). Scribd. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/68035263/oleohidraulica>
- Schmiedl, E., & Audelo, F. (2017). *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina mediante la norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión para la carrera de Ingeniería química de la ESPOCH* (tesis de grado). Riobamba, Ecuador.
- SEHIDRA. (13 de Junio de 2010). Lima, Perú.
- Torres. (2011). Dinámica de Fluidos. En Lección 678 (p. 20).

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC A ESCALA PARA ACEROS CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO

Yusnier Enrique de la Rosa Rosales

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Mecánico y Máster en Diseño Mecánico.

Correo: yusnier82@gmail.com

Aleph Salvador Acebo Arcentales

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Eléctrico y Máster en Ciencias Técnicas.

Correo: alephacebo@hotmail.com

Manuel Ignacio Barberán Castro

Estudiante Egresado de Ingeniería Mecánica Naval. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: elmibc@gmail.com

David Agustín Navia Ordoñez

Estudiante Egresado de Ingeniería Mecánica Naval. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: davidnavia_93@hotmail.com

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo fundamental diseñar un prototipo de máquina fresadora CNC o control numérico computarizado a escala para aceros de bajo contenido de carbono, capaz de dirigir de manera automática y coordinada, los movimientos durante el mecanizado de piezas o figuras complejas. Al contar con máquinas CNC industriales, y no poderle dar uso porque requieren un alto conocimiento, se decidió diseñar este prototipo de fresadora CNC para que los estudiantes diseñen

y construyan piezas, gracias a que usa un software relativamente sencillo. Cumpliendo con los requerimientos para mecanizar hasta aceros con bajo contenido de carbón. De esta manera se pueden realizar cálculos de diseño y selección de sus componentes estableciendo los parámetros de operación de la máquina CNC. A partir del diseño preliminar de la máquina, se procedió a seleccionar un sistema de control adecuado que cumpla con los requerimientos de la fresadora CNC, donde se usaron las tarjetas Arduino CNC y el Driver ST-M5045. Para el estudio del diseño y automatización, se consultó bibliografía de diseño mecánico, manuales de selección, catálogos, fichas técnicas de los fabricantes, además se empleó software libre y los programa Autodesk Inventor, Dassault Systèmes SolidWorks Corp, Vectric Passionate About CNC. Se determinó el costo de la máquina fresadora CNC, comprobándose su rentabilidad. Finalmente se concluye que la máquina fresadora CNC dispone de una precisión aceptable a velocidades de producción adecuadas y puede ser utilizada por personal no certificado para la operación de maquinaria por control numérico computarizado, lo que la hace más accesible a las pequeñas y medianas industrias manufactureras del medio local.

Palabras Claves: Control numérico computarizado, manufactura asistida por computadora.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CNC SCALE MACHINE FOR STEELS WITH LOW CARBON CONTENT

Abstract

The main aim of this graduation project is to design a prototype CNC milling machine or computerized numerical control at scale for low carbon steels, capable of directing in an automatic and coordinated way, the movements during the machining of parts or complex figures. Having industrial CNC machines, and not being able to use them because they

require a high level of knowledge, it is decided to design this CNC milling prototype for students to design and build pices, thanks to the use of simple and not so complex software. Complying with the requirements to mechanize up to steels with low carbon content. In this way you can perform design calculations and selection of its components by setting the operating parameters of the CNC machine. From the preliminary design of the machine, we proceeded to select a suitable control system that meets the requirements of the CNC milling machine, where the Arduino CNC cards and the ST-M5045 Driver were used. For the study of design and automation, we consulted mechanical design books, selection manuals, catalogs, technical specifications of the manufacturers, free software was also used and the programs Autodesk Inventor, Dassault Systèmes SolidWorks Corp, Vectric Passionate About CNC. The cost of the CNC milling machine was determined, verifying its profitability. Finally, it is concluded that the CNC milling machine has an acceptable precision at adequate production speeds and being able to be used by personnel with low knowledge of computerized number control, which makes it accessible to acquire it for the local environment.

Keywords: Computational numeric control, computer aided manufacturing

Introducción

El Control Numérico Computarizado (CNC), es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está en la maquina conocida como husillo, el cual tiene la pieza de desbaste que utiliza el equipo en este caso una fresa. Mediante un software y un grupo de órdenes se controla la posición de la herramienta y su punto de origen conocido como ejes X0, Y0 y Z0.

Los antecedentes de las máquinas CNC se remontan al año de 1824, cuando un británico tejedor utilizó tarjetas perforadas en sus máquinas,

después de esto, 120 años más tarde el estadounidense John T. Parsons conciben mando automático con tarjetas perforadas, coincidiendo las coordenadas de los ejes con los agujeros. Después de esto, el gobierno norteamericano se interesó en este sistema, para el copiado de piezas difíciles de realizar manualmente, pero susceptibles a ser modificadas fácilmente, en el año 1952 el Instituto Tecnológico de Massachusetts creó el término de control numérico por lo que apoyó el desarrollo de una fresadora de tres ejes. (González, 2014)

En una máquina CNC a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Esto permite hacer movimientos que no son posibles manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Con la creciente demanda de producción, el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas en Ecuador ha sido acelerado y ha exigido cada vez mayores capacidades, que puedan brindar la infraestructura necesaria (Silva, 2017). De acuerdo a los estudios preliminares realizados se constató que no existen experiencias en la fabricación de fresadoras CNC a escala para materiales de acero. Las investigaciones demostraron que las máquinas CNC a escala solo maquinan materiales blandos, llegando hasta el aluminio (FAGOR, 2017), (SIEMENS, 2017), (FANUC, 2015).

A nivel internacional existen varios intentos por generar “máquinas fabricadoras” mediante tecnología CNC de carácter libre y de menor costo con intención experimental. Estas máquinas surgen en un intento de acercar la tecnología a las personas, bajo la premisa del crecimiento exponencial de la tecnología. (Suk-Hwana, 2008)

En la actualidad existen máquinas de bajo peso y con un área de trabajo pequeña; esta no supera los 500 milímetros y sus mesas de trabajo no superan los 15 kg cargada. Así como sus componentes, que son sencillos y no tienen una alta complejidad en su ensamblaje (Cuesta, 2005). Estas

son mayormente usadas para trabajar en la fabricación de circuitos eléctricos, gracias a su versatilidad también se usa en materiales blandos como MDF, PVC, Madera, Baquelita, Aluminio, Cobre etc. (James, 2010)

Las fresadoras CNC están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, cavidades, contornos de superficies y operaciones de tallado de dados, en las que se deben controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de fresado. Normalmente se necesita solo un operador para cambiar las fresas, así como para montar y desmontar las piezas de trabajo (Teruel, 2004).

Las máquinas CNC a pequeña escala de 3 ejes cuentan de los siguientes componentes: Motor paso a paso, Arduino CNC, Drivers, Fuente 12V 2^a, Rodamiento Lineal, Cabezal de corte que incluye el motor del husillo. (Steven, 2010)



Figura 1 Máquina CNC de 3 ejes a escala. Fuente: Steven, 2010.

Generalmente, la manufactura de una pieza implica la combinación de tres tipos de software:

1. Diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés):
Diseño de la pieza.

2. Manufactura asistida por computadora (CAM por sus siglas en inglés): calcula los desplazamientos de los ejes para el maquinado de la pieza y agrega las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte.

3. Software de control (incluido con la máquina): recibe las instrucciones del CAM y ejecuta las órdenes de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora de acuerdo con dichas instrucciones.

Existen una serie de códigos para establecer las órdenes durante el proceso de maquinado. El código G describe las funciones de movimientos principales (movimientos rápidos, avances lineales, avances radiales, pausas, ciclos), mientras que el código M describe las funciones misceláneas que se requieren para el mecanizado de la pieza, pero que no corresponden a los movimientos de la máquina (arranque y detención del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, detención del programa). A su vez, cada código contiene variables, identificadas con otras letras y definidas por el programador para cada función específica. Por ejemplo, F define la velocidad de avance, S la velocidad del husillo, T la herramienta seleccionada, X, Y y Z el movimiento de los ejes, I, J y K la localización del centro de un arco. (Arreguin, 2016)

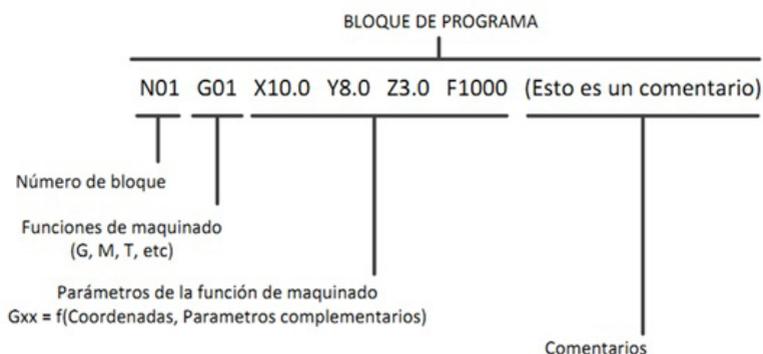


Figura 1. Bloque de comunicación. Fuente: Arreguin, 2016.

En correspondencia con la tendencia al uso cada vez más frecuente de esta tecnología y teniendo en cuenta que las máquinas CNC a escala solo cuentan con diseños para maquinari piezas de madera, plásticos y aluminios. El objetivo de esta investigación es diseñar un prototipo de máquina fresadora CNC a escala para aceros de bajo contenido de carbono.

Material y Método

Para el diseño de la fresadora CNC se realizaron una serie de cálculos que permitieran maquinari piezas de acero al carbono con una dureza de hasta 180 HB.

Tabla 1. Fórmulas para el fresado. Fuente: Kalpakjian, 2008.

DESIGNACIÓN	ECUACIONES
D = diámetro exterior de la fresa; mm	$V_c = \frac{N * \pi * D}{1000} = \frac{600 * \pi * 7}{1000} = 13.2 \frac{m}{min} \quad (3.1)$
H = altura de la fresa; mm	
N = velocidad de rotación de la fresa; rpm	$v = S * z * N = 0.1 * 6 * 600 = 360 \frac{mm}{min} \quad (3.2)$
z = número de dientes en la fresa	
S = avance; mm/diente	$L_c = \frac{D}{2} = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ mm} \quad (3.3)$
v = velocidad de avance lineal; mm/min	
Vc = velocidad de corte; m/min	$L_t = L + 2 * L_c = 300 + 2 * 3.5 = 307 \text{ mm} \quad (3.4)$
L = longitud de corte de la pieza; mm (largo de la mesa)	
Lc = longitud de primer contacto de la pieza con la fresa; mm	$RRM = w * t * v = \frac{7 * 1 * 360}{60} = 42 \frac{mm^3}{s} \quad (3.5)$
Lt = longitud total de corte; mm	
w = ancho de corte; mm (diámetro de la fresa)	$P_c = E * RRM = 5 * 42 = 210 \text{ W} \quad (3.6)$
t = profundidad de corte; mm	
z = número de diente	$F_c = \frac{P_c}{\left(\frac{V_c}{60}\right)} = \frac{210}{2.2} = 95.4 \text{ N} \quad (3.7)$
Pc = potencia de corte	
RRM = rapidez de remoción de material; mm ³ /min	$M_t = F_c * \frac{\left(\frac{D}{1000}\right)}{2} = 95.4 * \frac{0.007}{2} = 0.33 \text{ N - m}$
Fc = Fuerza de corte; N	
Pc = Potencia de corte; W	
Mt = momento torsor; N - m	
E = Energía específica de corte; W · s/mm ³ (tabla 3.3)	

Tabla 2 Profundidad de corte recomendada para el fresado. Fuente: Casillas, 2008.

NORMALIZACIÓN DE LAS PROFUNDIDADES DE FRESADO

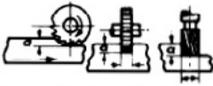
	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, $a = 3$ mm.	Todo el ancho de la fresa, $a = 5-8$ mm.	Todo el ancho de la fresa, $a = 1$ mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, $a = 3$ mm.	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 5$ mm.	Igual al diámetro de la fresa, $a = 1$ mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, $a = 2$ mm.	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 4$ mm.	Igual al diámetro de la fresa, $a = 0,5$ mm.
4. Fresas de disco.	$a =$ Ancho de la fresa como máximo	$a =$ a la mitad del ancho de la fresa	$a = 5\%$ del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	$a =$ Todo el perfil en pequeñas formas	$a = 1 \cdot$ Pasada 45 % altura, $2 \cdot$ 45 %	$a = 10\%$ de la altura de su forma

Tabla 3. Energía específica necesaria para el maquinado. Fuente: Kalpakjian, 2008.

Intervalo aproximado de requerimientos de energía en las operaciones de corte por lo que se refiere al motor de accionamiento de la máquina herramienta (multiplicar por 1.25 para herramientas desafiladas)

Material	Energía específica	
	$W \cdot s/mm^3$	$hp \cdot min/pulg^3$
Aleaciones de aluminio	0.4–1	0.15–0.4
Hierros fundidos	1.1–5.4	0.4–2
Aleaciones de cobre	1.4–3.2	0.5–1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.2–8	1.2–3
Aleaciones de magnesio	0.3–0.6	0.1–0.2
Aleaciones de níquel	4.8–6.7	1.8–2.5
Aleaciones refractarias	3–9	1.1–3.5
Aceros inoxidables	2–5	0.8–1.9
Aceros	2–9	0.7–3.4
Aleaciones de titanio	2–5	0.7–2

**Selección de los componentes de la fresadora CNC a escala.
MOTOR PASO A PASO**

Se seleccionó este tipo de motor, ya que el mismo es ideal para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos

muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez. Esto paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan sólo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° (Conti, 2006). El modelo escogido por sus características fue el NEMA 23 M-2218-3.0.



Figura 2 Motores paso a paso.

ARDUINO CNC

El Arduino CNC es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino CNC- puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de la computadora (Rivera, 2016). Se escogió el rduino 1, por su diseño sencillo y su bajo costo frente a otras generaciones más avanzadas. Ya que con esta se obtiene todos los requerimientos necesarios.



Figura 3 Arduino CNC.

DRIVERS

El driver para un motor paso a paso corresponde a un circuito electrónico, el cual tiene la característica de conmutar cada una de las bobinas del stepper y a su vez, generar la secuencia en que debe alimentarse cada bobina para generar un paso (Plaza, 2014). Se seleccionó un driver Mach 3.



Figura 4 Drivers.

FUENTE 12V 2ª

La fuente de alimentación o fuente de poder es el dispositivo que convierte la corriente alterna (CA), en una o varias corrientes continuas (CC), que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conectada. Se seleccionó una fuente de PC de 500 W.



Figura 5 Fuente 12 V.

RODAMIENTOS LINEALES

Los rodamientos lineales son elementos de rodadura para movimientos de traslación. Los requisitos para los componentes lineales son tan diferentes como las aplicaciones en las que se utilizan gracias a su

velocidad y precisión (Budynas, 2008). Se seleccionaron rodamientos lineales SKF LUHR para 8 y de 16mm de diámetro.



Figura 6 Rodamientos lineales SKF LUHR.

CABEZAL DE CORTE QUE INCLUYE EL MOTOR DEL HUSILLO

Un husillo es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal con pocas perdidas por fricción. Se seleccionó un husillo ACME con su motor refrigerado por aire ER11.



Figura 7 Motor del husillo porta-herramientas ER 11.

Resultados y discusión

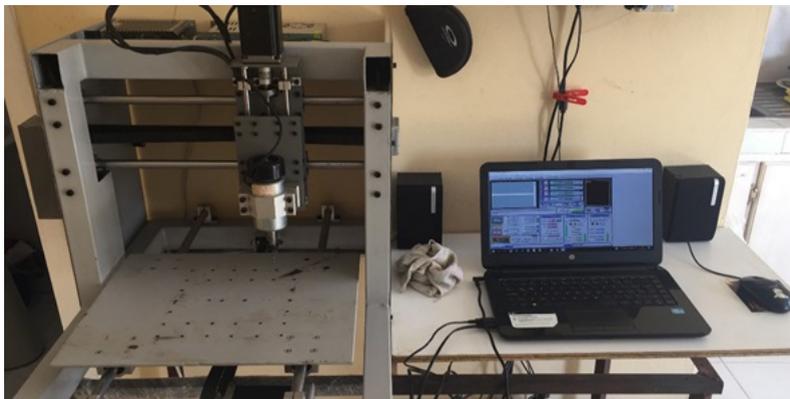


Figura 8 Fresadora CNC a escala para el maquinado de aceros con bajo contenido de carbono. Fuente: Autor.

Tabla 4 Características de los aceros para el maquinado. Fuente: DIPAC S.A.^[1]

Calidad AISI	Composición Química							Resistencia a la Tensión (MPa)	Resistencia a la Fluencia (MPa)	Alargamiento %	Dureza Brinell (HB)
	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cu %	Otros %				
1008	0,03 - 0,10	0,25 - 0,50	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,20 max	Ni 0,15 - 0,35 Cr 0,40 - 0,65 V 0,02 - 0,10	48	41	20	95
1010	0,08 - 0,15	0,30 - 0,60	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,20 max		53	44	20	105
1012	0,10 - 0,15	0,30 - 0,60	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,20 max		56	47	18	111
1015	0,12 - 0,18	0,30 - 0,60	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,20 max		64	54	15	126
1020	0,17 - 0,23	0,30 - 0,60	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		68	57	15	137

I Empresa de importación, distribución, fabricación y comercialización, por cuenta propia o de terceros, de productos de hierro y acero o de sus derivados industriales.

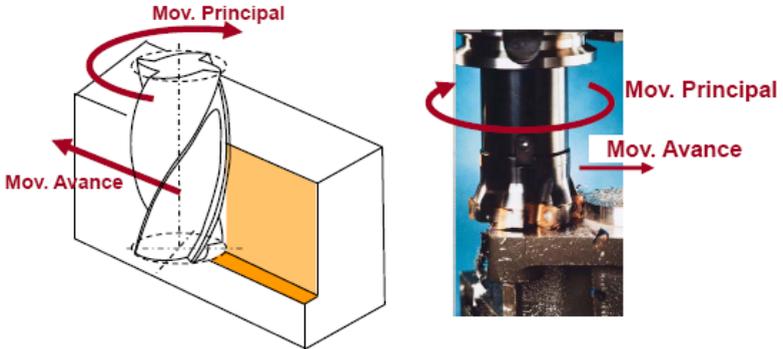


Figura 9 Parámetros del maquinado.

Regímenes de Corte para el fresado: Velocidad de corte = 13.2 m/min, Avance de corte = 360 mm/min, Profundidad de corte: 1mm (Ver Tabla 2.1).



Figura 10 Herramientas para el maquinado. Fuente: Autor

Características de las fresas utilizadas en el maquinado:

Fabricante: TUP

Modelo: T450

Material: Carburo de Tungsteno

Diámetros de las fresas: 1, 2, 3, 4, 6 y 8 mm



Figura 11 Piezas de diferentes geometrías maquinadas en la fresadora CNC a escala. A la izquierda pieza 1 y a la derecha pieza 2. Fuente: Autor.

Para evaluar la eficiencia se tomó el tiempo de maquinado para cada una de las piezas y se compararon las medidas obtenidas con las introducidas en el software.

Tabla 5 Resultados del maquinado con las diferentes calidades de acero.
 Fuente: Autor

AISI 1008						
	Pieza 1. Material a remover = 300 mm ³			Pieza 2. Material a remover = 250 mm ³		
Diámetro de la herramienta (mm)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)
1	50,00	0,22	97,88	41,57	0,20	97,57
2	25,00	0,17	98,76	20,53	0,19	97,54

CAPÍTULO 4: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS

3	16,57	0,24	96,31	14,09	0,15	98,21
4	12,50	0,24	97,04	10,42	0,17	98,08
6	8,33	0,22	97,88	7,04	0,20	97,57
8	6,25	0,21	98,04	5,21	0,21	97,22
Promedio		0,22	97,65		0,19	97,70
AISI 1010						
		Pieza 1. Material a remover = 300 mm ³		Pieza 2. Material a remover = 250 mm ³		
Diámetro de la herramienta (mm)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)
1	50,00	0,21	98,04	41,57	0,18	98,01
2	25,00	0,19	97,87	20,53	0,21	97,22
3	16,57	0,24	97,04	14,09	0,12	98,57
4	12,50	0,22	97,88	10,42	0,19	97,54
6	8,33	0,24	97,04	7,04	0,18	98,01
8	6,25	0,25	96,52	5,21	0,20	97,57
Promedio		0,22	97,69		0,18	97,82

AISI 1012						
	Pieza 1. Material a remover = 300 mm ³			Pieza 2. Material a remover = 250 mm ³		
Diámetro de la herramienta (mm)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)
1	50,00	0,20	98,02	41,57	0,20	97,57
2	25,00	0,16	98,58	20,53	0,21	97,22
3	16,57	0,22	97,88	14,09	0,11	98,65
4	12,50	0,24	97,04	10,42	0,18	98,01
6	8,33	0,21	98,04	7,04	0,19	97,54
8	6,25	0,23	97,85	5,21	0,22	97,16
Promedio		0,21	97,90		0,19	97,69
AISI 1015						
	Pieza 1. Material a remover = 300 mm ³			Pieza 2. Material a remover = 250 mm ³		
Diámetro de la herramienta (mm)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)
1	50,03	0,19	97,87	41,57	0,19	97,54
2	25,02	0,18	98,26	20,55	0,22	97,16

CAPÍTULO 4: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS

3	16,58	0,21	98,04	14,09	0,12	98,57
4	12,51	0,20	98,02	10,43	0,17	98,08
6	8,34	0,22	97,88	7,05	0,18	98,01
8	6,25	0,24	97,04	5,21	0,21	97,22
Promedio		0,21	97,85		0,18	97,76
AISI 1020						
		Pieza 1. Material a remover = 300 mm ³		Pieza 2. Material a remover = 250 mm ³		
Diámetro de la herramienta (mm)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)	Tiempo de corte (min)	Diferencia en la medición (mm)	Desviación (%)
1	50,05	0,20	98,02	41,57	0,20	98,10
2	25,03	0,19	98,17	20,56	0,23	97,22
3	16,58	0,22	97,88	14,09	0,10	98,12
4	12,51	0,23	97,85	10,43	0,18	97,54
6	8,34	0,21	98,04	7,05	0,19	97,83
8	6,26	0,25	96,52	5,21	0,22	97,57
Promedio		0,22	97,75		0,19	97,73

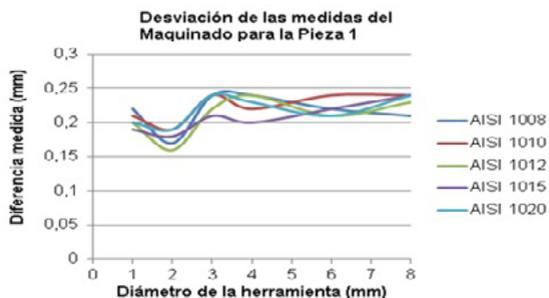


Figura 12 Valor del error dimensional máximo en el maquinado de la pieza 1.



Figura 13 Valor del error dimensional máximo en el maquinado de la pieza 2.

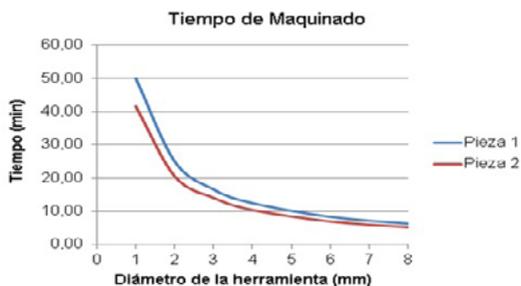


Figura 14 Tiempo total de maquinado de acuerdo al diámetro de la herramienta.

Conclusiones

1. Se diseñó un prototipo de máquina CNC a escala, basado en bibliografía técnica actualizada y respaldada por las normas de

diseño ecuatorianas.

2. Se construyó una máquina CNC a escala con recursos locales y de importación. La estructura se construyó en su totalidad con materiales obtenidos en el medio local y el equipamiento electrónico si tuvo que ser importado, puesto que no se fue posible obtenerlos en nuestro entorno.

3. Mediante el programa ASPIRE 4.0, se logró generar trayectorias de herramientas con códigos G, sin necesidad de un alto conocimiento en la operación de máquinas de control numérico.

4. Se realizaron ensayos con 2 piezas de diferentes geometrías, replicadas en diferentes calidades de aceros al carbono. El error máximo apreciado fue de menos de 0,25 milímetros, lo que representó un valor medio superior al 97% de precisión.

5. Los ensayos demostraron la similitud en el comportamiento con distintos aceros, en un tiempo total de maquinado entre 40 y 50 minutos para la fresa de 1 milímetro de diámetro; y entre 5 y 7 minutos para la fresa de 8 milímetros de diámetro.

Bibliografía

Arreguin, C. (Julio 2016). *Maquiclick*. Recuperado de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/maquinas-operadas-control-numerico-computarizado/>

Budynas, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.

Casillas, A. L. (2008). *Cálculos de Taller*. España: autor-editor.

Conti, F. (2006). *Motores paso a paso*. Tacuri: Alsina.

Cuesta, A. (2005). *Teoría y problemas en programa control numerico*. Barcelona: Marcombo.

FAGOR. (2017). *Fagor Automation*. Recuperado de http://www.fagorautomation.de/wp-content/uploads/2017/04/Jornada_Fagor_Usuarios_web.pdf?utm_source=NEWSLETTER

- FANUC. (2015). *Una plataforma de control común de infinitas posibilidades*. Recuperado de <https://academy-sp.fanuc.eu/office/spain/es-es/SiteAssets/Paginas/Forms/AllItems/Gu%C3%ADa%20Formacion%202015.pdf>
- Gonzalez, O. (Mayo de 2014). *documents.tips*. Recuperado de <https://documents.tips/documents/antecedentes-cnc.html>
- James, K. (2010). *Contruya su propia maquina Cnc*. Georgia: Apress.
- Plaza, J. A. (Agosto de 2014). *Toyoutome*. Recuperado de <http://toyoutome.es/blog/el-equipo-necesario-para-convertir-tu-casa-en-una-fabrica-digital/31730>
- Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.
- Peters, J. (Diciembre 2013). *Casiopea*. Recuperado de [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC))
- Rivera, R. (2006). *Prácticas de la Cnc*. Sevilla: Universidad Córdoba.
- Steven, K. (2010). *Máquinas Herramienta*. Barcelona-España: Marcombo Alfaomega.
- SIEMENS (2017). *Sinumerik. Soluciones inteligentes para máquinas herramientas*. Recuperado de <http://techdesign.com.ec/techw/wp-content/uploads/2016/01/SINUMERIK-SOLUCIONES-INTELIGENTES-PARA-MAQUINAS-HERRAMIENTAS.pdf>.
- Silva, A (Abril, 2017). EL legado en política industrial. *Industrias. Cámara de industrias de Guayaquil*. Vol. 3, p. 20
- Suk-Hwana. (2008). *Teoría y diseño de sistema CNC*. New York: Springer Science & Business Media.
- Teruel, C. (2004). *Control numérico y programación*. Barcelona: Marcombo.

CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DE LAS CIENCIAS A LA INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN

Es evidente que para cursar los currículos de ingeniería se requieren bases sólidas en el conocimiento de las ciencias básicas, pero también se debe reconocer que, en las escuelas de ingeniería, esta enseñanza tiene poca interacción con el mundo práctico, en las primeras etapas de las carreras nuestros estudiantes sienten que atraviesan un árido desierto al estudiar las matemáticas y ciencias naturales, antes de poder aplicar los conocimientos adquiridos en a través del estudio de las mismas.

Es inminente de que las ciencias básicas representan las asignaturas con un alto índice de reprobación en las carreras de ingeniería, refleja un síntoma de un problema más complejo, en el que intervienen varios factores que inciden en aspectos del desempeño estudiantil como son: el aprendizaje, la enseñanza y los tema de estudio y que son debidos a: la formación de los docentes, a la infraestructura cognoscitiva de los alumnos y a factores externos al aula y que pueden ser de tipo social, emocional, económico.

La formación de los ingenieros debe enfocarse desde el objeto de la integración de conocimientos, la interdisciplinariedad y aplicabilidad de esos conocimientos transferidos por los docentes en búsqueda de soluciones a los diferentes problemas de su vida diaria.

Los resultados presentados en este Capítulo se derivan de análisis realizados en el proceso Enseñanza-Aprendizaje y el conjunto de actividades desarrolladas por docentes y estudiantes de las Carreras de Ingeniería Civil y Mecánica Naval.

En los primeros dos trabajos se aborda la problemática del proceso de Enseñanza-Aprendizaje desde el análisis de la Matemáticas y la

aplicación de las TICs y su incidencia en el proceso de formación de los futuros Ingenieros. Los tres trabajos restantes se enfocan en la aplicación de estas ciencias básicas en la solución a problemas profesionales logrando una mayor interacción y motivación en los estudiantes y un empoderamiento con la carrera que cursa.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS CIVILES DE LA Uleam

Ángel Mauricio Espinoza Coterá

Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador. Ingeniero Eléctrico y Máster en Educación Matemáticas Universitaria.

Correo: angel.espinoza@uleam.edu.ec

Miguel Escalona Reyes

Docente de la Universidad de Holguín. Cuba. Licenciado en Matemáticas e Informática. Doctor en Ciencias Pedagógicas.

Correo: miguelescalrey@gmail.com

Resumen

Enfrentar los grandes retos que el desarrollo de la sociedad le impone a la educación en todas partes del mundo, presupone, entre otros aspectos importantes, la necesidad del desarrollo de una didáctica integral y contextualizada dirigida al logro de la preparación del hombre para la vida; así como reconsiderar los métodos de enseñanza tradicionales, de forma tal que se posibilite la incorporación de los nuevos adelantos de la ciencia y la técnica de forma eficiente.

En este sentido se dirige el presente trabajo, específicamente, a perfeccionar el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática Superior en la carrera de Ingeniería Civil, desde una visión interdisciplinar, que propicie establecer las relaciones entre los contenidos de esta asignatura con los contextos de actuación de dichos profesionales.

La contextualización de la Matemática a situaciones prácticas del ingeniero civil permitió perfeccionar el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática y con ello disminuir las insuficiencias en el aprendizaje de esta

materia en los estudiantes; ya que un concepto, relación o procedimiento matemático es mejor comprendido mientras más numerosos y fuertes sean sus nexos con otros.

Palabras Clave: Didáctica, Matemática Superior, Formación Profesional.

CONTEXTUALIZATION OF THE TEACHING OF MATHEMATICS IN THE TRAINING OF CIVIL ENGINEERS OF THE ULEAM

Abstract

Facing the great challenges that the development of society imposes on education in all parts of the world, presupposes, among other important aspects, the need for the development of a comprehensive and contextualized teaching aimed at achieving the preparation of man for life; as well as reconsidering the traditional teaching methods, in such a way that the incorporation of new advances in science and technology is made possible in an efficient way.

In this sense the present work is directed, specifically, to perfect the learning process of Higher Mathematics in the career of Civil Engineering, from an interdisciplinary perspective, which facilitates establishing the relationships between the contents of this subject and the contexts of performance of said professionals.

The contextualization of Mathematics to practical situations of the civil engineer allowed to perfect the teaching-learning process of the Mathematics and with it to diminish the insufficiencies in the learning of this matter in the students; since a concept, relationship or mathematical procedure is better understood while the more numerous and strong its links with others.

Keywords: Didactics, Higher Mathematics, Professional Training.

Introducción

La matemática es una actividad que data de muchos años y ha sido utilizada con objetivos profundamente diversos. Fue un instrumento para la elaboración de vaticinios, entre los sacerdotes de los pueblos mesopotámicos. Se consideró como un medio de aproximación a una vida más profundamente humana y como camino de acercamiento a la divinidad, entre los pitagóricos. Fue utilizado como un importante elemento disciplinador del pensamiento y es la más versátil e idónea herramienta para la exploración del universo, a partir del Renacimiento. Viene desempeñando el papel de pilar fundamental del pensamiento filosófico, entre los pensadores del racionalismo y filósofos contemporáneos.

Es una ciencia intensamente dinámica y cambiante, una disciplina intelectual autónoma, uno de los exponentes más claros del poder creativo de la mente humana. Por otra parte, juega un papel fundamental en la ciencia moderna, tiene una marcada influencia sobre ella y a su vez se ve influenciada por la ciencia de una manera esencial.

La sociedad actual está fuertemente impregnada por las matemáticas y estas han cobrado una gran importancia, no sólo en lo referente a su contribución al desarrollo socioeconómico y tecnológico, sino también a la vida cotidiana, social, cultural y política de todos los países. Vivimos en un mundo basado en la ciencia y la tecnología y dentro de una sociedad que se vuelve cada vez más dependiente de ambas. Como resultado, las matemáticas son esenciales para sobrevivir, suministran los prerrequisitos que permiten el desarrollo de ciudadanos competentes, participativos, reflexivos y críticos, con poder de actuación en sociedades del conocimiento.

La Matemática es fundamental para el ser humano ya que le permite descubrir las maravillas a su alrededor y poder convivir junto a ellas, enseñándole a dudar de todo aquello que no haya sido explícitamente demostrado, y a rechazar dos ideas contradictorias entre sí, mutuamente excluyentes. Es el mundo de la creación pura, limitado exclusivamente

por las reglas del pensamiento lógico. Es el mundo de las estructuras, entendidas éstas como entidades que deben gozar de unas propiedades, y nos conduce directamente a la teoría de modelos, que no son más que estructuras simplificadas de la realidad que nos permiten su estudio cada vez más aproximado.

Las valoraciones realizadas en cuanto a su enseñanza permiten determinar, entre otras causas, que aún persisten rasgos de la escuela tradicionalista, donde predomina un enfoque disciplinar estrecho, que implica la división y descontextualización del contenido, lo cual constituye un obstáculo para la formación del hombre que necesita la sociedad actual; donde la constante renovación y actualización de los conocimientos científico técnicos, posibilitan y requieren, cada vez más, mostrar los nexos y relaciones de sus contenidos con los procesos y fenómenos de la ciencia y la sociedad.

La situación anterior exige de enfoques integradores y globalizadores del conocimiento. En la literatura consultada se aborda escasamente la integración de contenidos de la Matemática, tanto dentro de ella como con los contenidos de otras asignaturas.

En esta dirección se encamina el presente trabajo, perfeccionar el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática Superior, desde una visión interdisciplinar, que propicie establecer las relaciones entre los contenidos de esta asignatura con contenidos y situaciones tanto de otras asignaturas como de la vida profesional del Ingeniero Civil.

Contenido

La ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas, que se dedica a la resolución y optimización de los problemas que afectan directamente a la humanidad. En ella, el conocimiento, manejo y dominio de las matemáticas se aplica para desarrollar formas eficientes de utilizar los materiales y las bondades de la naturaleza para

beneficio de la humanidad y del ambiente.

Pese a que la ingeniería como tal está intrínsecamente ligada al ser humano, su nacimiento como campo de conocimiento específico viene ligado al comienzo de la revolución industrial, constituyendo uno de los actuales pilares en el desarrollo de las sociedades modernas. La ingeniería es el saber aplicar los conocimientos científicos a la invención, perfeccionamiento o utilización de la técnica en todas sus determinaciones. Esta aplicación se caracteriza por utilizar principalmente el ingenio de una manera más pragmática y ágil que el método científico, puesto que una actividad de ingeniería, por lo general, está limitada a un tiempo y recursos dados por proyectos. El ingenio implica tener una combinación de sabiduría e inspiración para modelar cualquier sistema en la práctica.

Los ingenieros utilizan el conocimiento de la ciencia y la matemática, fundamentados con la experiencia para encontrar las mejores soluciones a los problemas concretos, creando los modelos matemáticos apropiados de los problemas que les permiten analizarlos rigurosamente y probar las soluciones potenciales. Si existen múltiples soluciones razonables, los ingenieros evalúan las diferentes opciones de diseño sobre la base de sus cualidades y eligen la solución que mejor se adapta a las necesidades.

La Matemática, como parte del saber científico, desempeña un importante papel en los cambios que tienen lugar en la ciencia actual; lo cual se evidencia en la utilización cada vez mayor de sus métodos por casi todas las ciencias, como expresión del proceso creciente de penetración de sus productos en las diferentes ramas del conocimiento humano.

Ha sido frecuente la aplicación por parte de los profesores de Matemática, de métodos de enseñanza guiados por el mecanicismo, es decir, ha prevalecido la idea errónea de que el aprendizaje es sólo fruto del esfuerzo y sacrificio del estudiante, quien debe aprender una serie de procedimientos reforzándose su aplicación con una cantidad considerable de ejercicios; por ejemplo, si se considera el tema “derivadas” el profesor

da un conjunto de procedimientos para derivar funciones junto con las fórmulas respectivas y a modo de ejemplo resuelve una derivada sencilla aplicándose los procedimientos y las fórmulas, el próximo paso es dar una cantidad de ejercicios de aplicación.

Aparentemente la tarea del profesor termina ahí, para dar lugar a la ejercitación por parte del estudiante. No se sabe de dónde salieron los procedimientos ni las fórmulas, lo que es peor; los estudiantes no saben qué es la derivada ni para qué sirve, lo único que les preocupa es qué tipo de ejercicios se incluirán en el examen, por eso se dice que se estudia para aprobar la materia y la única forma de hacerlo es resolver los ejercicios del examen, que por cierto son mucho más complejos que los ejercicios que el profesor resuelve en la pizarra.

Las carreras de ingenierías son ejemplo de lo anterior, por lo que se necesita de ingenieros con una sólida formación matemática, acorde con las necesidades que impone el desarrollo económico del mundo moderno. Atendiendo a estos avances y la necesidad de lograr una eficiente formación de los actuales y futuros ingenieros, la Educación Superior se ha enfrascado en el perfeccionamiento y optimización de dicho proceso.

No obstante, a ello, los estudiantes continúan presentando dificultades en el aprendizaje de la matemática en general; entre las que se encuentran:

- Falta de dominio de los conceptos básicos y la acumulación formal de ellos.
- Pocas habilidades para el análisis y resolución de problemas.
- En muchas ocasiones no se entiende el significado, de dónde salen, ni para qué les sirven los conceptos, teoremas y fórmulas de la matemática.

Esta situación se agrava si se tiene en cuenta, además:

- No aplican los conocimientos adquiridos a situaciones de la realidad o del contexto en que se desempeñan.

- No encuentran relación alguna entre los diferentes contenidos que reciben de las asignaturas que conforman la disciplina.
- Deficiente capacidad de aplicación de los contenidos puramente matemáticos para la resolución de problemas vinculados con su especialidad.

Al profundizar en la literatura científica, se evidencia varias tendencias existentes en la enseñanza de la Matemática, a continuación, se caracterizan algunas de ellas (Guzmán, 1991 y Torres, 1998):

El operacionalismo, basado en el constructivismo de Piaget y en la Psicología Cognoscitiva, provoca un mayor activismo del estudiante en el proceso, así como una mejor motivación. Esta tendencia tiene como limitación que no comprende la necesidad de mantener la motivación a lo largo de todo el proceso de asimilación de los nuevos conocimientos; a lo que se agrega que prioriza el carácter facilitador de la enseñanza en detrimento del desarrollador.

El aprendizaje por descubrimiento trata que el estudiante descubra el conocimiento, en vez de recibirlo ya elaborado por el profesor, como ocurre normalmente en la escuela tradicionalista. El objetivo es desarrollar la capacidad investigativa y la independencia cognoscitiva. No obstante, no es aconsejable utilizarlo en todos los estudiantes por igual, pues a los que presentan dificultades académicas es necesario darles un tratamiento especial, ellos realizarán los descubrimientos en la medida de sus posibilidades.

Las teorías del procesamiento de la información plantean la posibilidad real de acceder a nuevos conocimientos y de favorecer la resolución de problemas a partir de una estructuración adecuada de los esquemas cognitivos que se poseen. Las mismas enfatizan la creación de estructuras mentales de conocimiento, alejadas de la esfera afectiva y demandan una amplia preparación psicológica, por parte de los profesores.

La enseñanza de la Matemática mediante problemas se basa en la resolución de problemas y exige una buena preparación y motivación de los

estudiantes. Dentro de este contexto deben destacarse las investigaciones sobre la formulación y elaboración de problemas, Cruz (2002) y Mola (2003).

Tendencias menos conocidas o utilizadas son la comunicación en la educación matemática, la cual se define como las formas de presentar y apropiarse del contenido matemático sobre la base de una permanente interacción entre los componentes personales del proceso de enseñanza aprendizaje y el razonamiento matemático, el cual está dirigido al desarrollo del pensamiento lógico, en los estudiantes.

Estas tendencias absolutizan momentos importantes del proceso y, en general, todas ellas presentan elementos positivos; lo óptimo sería integrar estos elementos que es, lo que de alguna manera, se propone el autor de la presente investigación.

La tendencia que más posibilidades de integración ofrece es la utilización de computadoras en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática, la cual adquiere especial significación en el presente trabajo, es a la vez una de las más actuales y con mayores perspectivas. Sin embargo, la computadora se utiliza muy poco en la enseñanza de esta materia, sólo en algunas ocasiones para realizar operaciones matemáticas, pero no para profundizar en el conocimiento matemático, para relacionar sus contenidos y menos aún a la Matemática con otras ciencias.

Las tendencias, consideraciones y puntos de vistas valorados, reflejan la diversidad de criterios acerca de la enseñanza de la Matemática; donde cada una trata de superar las deficiencias desde aristas diferentes, aunque es insuficiente aún la búsqueda de relaciones entre los contenidos de esta materia y menos aún en lo referente a la relación de dichos contenidos con los de las demás asignaturas y con situaciones de la vida.

Sobre la temática de la integración de contenidos en la enseñanza de la Matemática han incursionado pocos autores, entre los que se encuentran:

Castro (2003), en dicha obra se toma como núcleo central algunos

conocimientos matemáticos y se les relaciona con contenidos de Física, Química, Geografía y Biología. La limitación de estos autores es que sólo parten de la Matemática y de esta forma omiten la verdadera interrelación.

Villegas y Pláceres (2003), refieren el tratamiento a situaciones típicas de enseñanza de las ciencias (Matemática, Física, Química, Biología y Geografía), en particular desarrollan el tratamiento metodológico de conceptos y sus definiciones en estas asignaturas. Es de señalar que se centra más la atención en el tratamiento metodológico que en las relaciones existentes entre los contenidos.

González y Ayala (2005), dirigen sus esfuerzos a facilitar la actividad experimental en el preuniversitario auxiliándose de los recursos informáticos; aunque tratan únicamente los contenidos de Física, sin explotar sus relaciones con otras asignaturas, además no aprovechan suficientemente las potencialidades didácticas de estos recursos.

Quintero (2007), presenta una propuesta didáctica para la integración y sistematización de los contenidos de Matemática mediante la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el preuniversitario cubano. Este trabajo aborda la integración de dichas tecnologías en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática, aspecto muy importante; pero no tiene presente la integración de contenidos.

Como se puede apreciar, son escasos los trabajos que abordan la integración o la búsqueda de relaciones entre los contenidos de la Matemática, y de estos con los de las demás asignaturas y con situaciones de la vida; y se ha comprobado que, al menos en la literatura consultada, no hay investigaciones que aborden dicha integración en la enseñanza de la Matemática Superior.

El análisis epistemológico realizado pone en evidencia que se comprende la necesidad de buscar nuevas vías para desarrollar un conocimiento más integral a través de las relaciones existentes entre los contenidos de las diferentes asignaturas y con su contexto; pero, no obstante algunos

aportes realizados, no existe una metodología que propicie la integración de contenidos, además ningún autor se plantea la integración de los contenidos en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática en la Educación Media Superior.

El estudio realizado acerca de la integración de contenidos, permitió conocer que en el plano pedagógico no existe una definición diáfana de este concepto, incluso en la literatura científica se confunde con el de interdisciplinariedad.

Fiallo (2001), considera la integración como un momento, una etapa de organización y estudio de los contenidos de las disciplinas, con carácter necesario para la interdisciplinariedad; mientras otros autores como Salazar y Addine (2003) y Álvarez (2003) determinan la integración como relaciones interdisciplinarias.

Existen autores que abordan esta temática, pero se centran solamente en los conocimientos, descuidando las habilidades, valores y actitudes de los estudiantes; como es el caso de Valencia, citado por Ruiz (2002), Moraes (2001), Ruiz (2002).

Las definiciones valoradas determinan la integración de conocimientos como un proceso donde se buscan o establecen relaciones y nexos entre diferentes conocimientos, que provienen de una o de distintas áreas del saber. Se recalca que dicho proceso debe ser dirigido por el profesor y ejecutado por los estudiantes, donde la resolución de una tarea juega el papel de medio para conseguir ese fin y puede ser llevado a cabo a través de un “elemento aglutinador”, o sea de un concepto o procedimiento.

Los autores anteriores abordan la integración de manera incompleta, al abordar el problema de manera fragmentada. Se considera que la integración de conocimientos se ve afectada si sólo se toman como vehículo acciones aisladas como la realización de una tarea o el tratamiento de un concepto o procedimiento, pues la misma debe producirse en cada momento del desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje analizándose

los objetos y fenómenos de la realidad en su multilateralidad.

Al realizarse un proceso de integración, en el plano formativo, no sólo se deben tener presente los conocimientos; pues en dicho proceso son muy importantes también las habilidades, valores, actitudes y sentimientos. Diferentes autores han abordado esta situación en sus trabajos.

Gil (2001), afirma que lo correcto es defender una enseñanza disciplinar, que no conduzca a visiones parcializadas, sino que dé igual importancia a los análisis simplificadorios que a las síntesis unificadoras, a los problemas precisos acotados iniciales que a los tratamientos interdisciplinares de los problemas fronteras. El autor concuerda con Gil, en el sentido, de no superar el sistema interdisciplinar sino relacionar los contenidos fundamentales que permitan comprender la realidad como un todo, aunque difiere en cuanto a la manera unilateral que el citado autor realiza del proceso de integración de contenidos.

Vidal (1999), aborda la integración vertical y la horizontal. La primera refiriéndose a los contenidos de una asignatura y la segunda relacionada con la interconexión entre los contenidos de diferentes disciplinas. El segundo aspecto también tiene relación con la labor que se plantea el autor, aunque en Vidal aún no está definido a plenitud el concepto de integración de contenidos.

Vega (2003), plantea la integración de las asignaturas y disciplinas desde las tareas docentes, seminarios, prácticas de laboratorios y resolución de problemas mediante el método investigativo, así como la utilización de las Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Este autor simplifica la integración a la participación activa del estudiante en distintas actividades, elemento muy positivo; pero no explicita el proceso de formulación teórica de la misma a través de los conceptos. Según la opinión del autor de esta tesis, el mayor aporte está en la aplicación de las nuevas tecnologías.

Portela (2004), ofrece diferentes formas de lograr la integración: la

coordinación de disciplinas, la combinación de disciplinas de una misma área del conocimiento y la integración de disciplinas.

La primera se refiere solo a la detección de algunos objetivos, contenidos o metodologías comunes a diferentes disciplinas y el consecuente establecimiento de relaciones simples entre ellas; la segunda, consiste en el establecimiento de ejes o núcleos unificadores, o de ejes temáticos transversales de un área del conocimiento científico que requieren del enfoque de diferentes disciplinas, las que poseen, por lo general, objetivos comunes o metodologías semejantes; mientras que la tercera implica una relación mucho más estrecha y profunda entre las asignaturas del sistema educativo, alrededor de un objetivo integrador, conservando cada una sus esencias. Estas formas son muy generalizadoras, lo que obliga a buscar vías más precisas.

Los trabajos anteriores, aunque aportan y son un precedente importante en la presente investigación, no logran resolver plenamente el proceso dialéctico de la integración de contenidos. Proceso en el cual participan el profesor y el estudiante, los elementos teóricos y los prácticos, a partir de las relaciones entre los contenidos de las diferentes asignaturas.

Sobre el análisis epistemológico realizado, el autor del presente trabajo asume la definición dada por Escalona (2007), quien determina la integración de contenidos como: “Es una transversal del proceso de enseñanza aprendizaje, que se fundamenta en la interrelación entre los contenidos de una o varias asignaturas, y propicia una mayor generalización de los conocimientos, lo que favorece la comprensión de la realidad en su integralidad”.

Se hace evidente que el profesor debe buscar la manera de formar, en los estudiantes, una visión integral de la realidad a partir de los contenidos, y mucho más ahora cuando el volumen de información que enfrenta un estudiante de cualquier nivel de educación, es cada vez mayor; por lo que se necesita buscar nuevas formas de enseñanza

y de aprendizaje más eficaces, donde los estudiantes comprendan la posibilidad y necesidad de aplicar los contenidos de una ciencia, en la otra. En conclusión, que el dominio de los contenidos no esté dirigido, en primera instancia, a aprobar el examen, sino a comprender la realidad como un todo y a aplicarlos en la misma.

Conforme a la caracterización del concepto integración, es necesario fundamentar las relaciones que se pueden establecer entre los contenidos de la Matemática con los de las diferentes asignaturas, así como con situaciones de la vida.

Por relaciones entre contenidos se entiende: los elementos del conocimiento, habilidades, hábitos, normas de conducta, sentimientos y valores comunes a cada una de las asignaturas del área y que se pueden desarrollar como transversales de estas.

Entre ellas se pueden destacar las relaciones de coordinación, subordinación y complementación entre sus contenidos.

Relaciones de coordinación: Se establecen entre aquellos contenidos que se abordan en las diferentes asignaturas por separado, a los cuales se les puede dar igual tratamiento.

Relaciones de subordinación: Se instauran cuando, para el desarrollo de los contenidos de una asignatura, se utilizan los contenidos de las otras.

Relaciones de complementación: Se establecen entre aquellos contenidos de las diferentes asignaturas que se necesitan utilizar para comprender o resolver una situación determinada en la vida real.

Por otra parte, Kolmogorov (1988), expresó “la Matemática es grande. Un individuo no puede estudiar todas sus ramificaciones. En este sentido la especialización es inevitable. Pero a la vez, la Matemática es una ciencia única. Nuevas y nuevas relaciones surgen entre sus ramas a veces de forma imprevista. Unos campos sirven de instrumento a otros. Por esto encerrar a los matemáticos en límites estrechos sería la muerte de nuestra ciencia”.

En este planteamiento se evidencia claramente la importancia de revelar las relaciones existentes entre las diferentes asignaturas que conforman esta disciplina; pero, además esto no debe limitarse sólo a los contenidos pertenecientes a la Matemática, sino que también debe extenderse a los de aquellas disciplinas que están íntimamente ligadas a ella.

Muy estrechamente vinculado con el desarrollo interdisciplinario se encuentra la contextualización de la enseñanza, pues en este caso la esencia del mismo radica en buscar aquellas situaciones, fenómenos o procesos concernientes al contexto de actuación de los futuros profesionales de estas carreras para, de esta forma, desarrollar el proceso de enseñanza aprendizaje aprovechando dichas situaciones.

En este caso se asume la posición teórica del investigador Ortigoza (2006), cuando expresa: “el aprendizaje contextual tiene lugar cuando el alumno procesa la información y los conocimientos nuevos de tal manera que le da sentido en su marco de referencia (su propio mundo interno de memoria, experiencia y respuesta)”.

Para este autor, la contextualización del aprendizaje se puede lograr aplicando las siguientes estrategias:

- Relación: proceso de aprendizaje realizado en el contexto de la experiencia de la vida.
- Experimentación: aprender a partir de la exploración, descubrimiento e invención.
- Aplicación: emplear el contenido y la información en un contexto útil.
- Cooperación: lograr compartir, interactuar y comunicarse.
- Transferencia: Consiste en aprender usando el conocimiento que ya tiene el alumno en un nuevo contexto o una nueva situación; es decir, se construye por encima de lo que el alumno ya sabe.

Es de señalar que dichas estrategias no pueden cumplirse totalmente

en el marco de las clases, por lo que sólo se presentan algunos rasgos de ellas, especialmente las de experimentación, aplicación y transferencia.

Conclusiones

1. La Matemática desempeña un importante papel en los cambios que tienen lugar en la ciencia actual, lo cual se evidencia en la creciente utilización de sus productos en las diferentes ramas del conocimiento humano. Por lo que los futuros ingenieros necesitan de una sólida formación matemática que responda a las necesidades que impone el desarrollo económico del mundo moderno.

2. Las ideas propuestas evidencian las relaciones existentes entre los contenidos de las asignaturas que conforman la disciplina Matemática, su contextualización a situaciones prácticas del ingeniero civil; lo cual permite al estudiante comprender mejor estos conceptos y de esta forma lograr mayor solidez en sus conocimientos.

3. La aplicación práctica de las mismas permitirá perfeccionar el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática y con ello disminuir las insuficiencias en el aprendizaje de esta materia en los estudiantes; ya que un concepto, relación o procedimiento matemático será mejor comprendido mientras más numerosos y fuertes sean sus nexos con otros.

Bibliografía

- Álvarez, M. (2003). *Interdisciplinariedad: Una aproximación desde la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.
- Álvarez, V. (1994). Enseñanza de la matemática en carreras no matemáticas. *Rev. Educación Superior*. No 3. Rev. del centro de estudios por el perfeccionamiento de la Educación Superior de la Universidad de la Habana. La Habana, Cuba.
- Brito, M. (2010). Reflexiones acerca de la enseñanza de las matemáticas en las ciencias técnicas. *Revista Pedagogía Universitaria*. Vol. XV No. 3. Ciudad de la Habana. Cuba.
- Castro, F. (2003). Las relaciones interdisciplinarias en un área de ciencias, vistas desde la asignatura Matemática y la percepción de los estudiantes. En *Interdisciplinariedad: Una aproximación desde la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.
- Chaviano, R. (s.f.). *El papel de la Disciplina Matemática reflejado en las Teorías y Diseños Curriculares de las Carreras de Ingeniería según el Modelo cubano*.
- Colectivo de autores. (2007). *Plan de Estudios D carrera I*. Industrial. Comisión Nacional de Carrera. MES. Cuba.
- Fiallo, J. (1991). *La interdisciplinariedad en el currículo: ¿utopía o realidad educativa?* Libro en formato electrónico. La Habana. Cuba.
- _____. (2001). *La interdisciplinariedad en la escuela: de la utopía a la realidad*. Curso pre-reunión. Ciudad de la Habana. Evento Internacional Pedagogía, La Habana.
- _____. (2003). La interdisciplinariedad: un concepto “muy conocido”. En *Interdisciplinariedad: Una aproximación desde la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.

- Gil, D. y Guzmán, M. (1993). *Enseñanza de las ciencias y la matemática. Tendencias e innovaciones*. Madrid, España: Editorial popular. S. A.
- Hernández, H. (1989). *El perfeccionamiento de la enseñanza de la Matemática en la Educación Superior Cubana. Experiencia en Álgebra Lineal*. Tesis de Doctorado, MES.
- Kolmogorov, A. (1988). *Matemáticas, en ruso*. Tomo 26. Artículo publicado en la BSE.
- Mateus Marciano, J. (2008). *La enseñanza y el aprendizaje del álgebra: una concepción didáctica mediante sistemas informáticos*. Tesis doctoral. MES. Cuba.
- Ortigoza, C. (2006). *Currículum: Diseño, Desarrollo y Evaluación en la Educación Superior*. Material soporte magnético biblioteca Benito Juárez. Universidad de Holguín.
- Portela, R. (2003). *La enseñanza de las Ciencias desde un enfoque integrador*. En Álvarez P., Marta. *Interdisciplinariedad: una aproximación desde la enseñanza aprendizaje de las ciencias*. La Habana, Cuba: Ed. Pueblo y Educación.
- Stewart, J. (2006). *Cálculo con Trascendentes tempranas*. Internacional Thomson. La Habana: Editorial Félix Varela.
- Swokwosky. E. (1989). *Cálculo con Geometría Analítica*. Editorial Iberoamericana. 5ta Edición.

USO DE LA TIC'S Y SU INCIDENCIA EN EL PROCESO FORMATIVO DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

Karina Pilozo Pin

Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Civil. Ecuador.

Correo: maria.pilozo@uleam.edu.ec

Resumen

La presente investigación realizada en base a la problemática presentada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, donde el escaso uso de las Tic's impiden un cambio en los procesos formativos de los estudiantes, conllevó a un estudio que tuvo como objetivo: investigar el uso de la Tic's y su incidencia en el proceso formativo de los estudiantes de Ingeniería. Se aplicó una metodología basada en la información proporcionada por los docentes y estudiantes, utilizando el método inductivo, con técnicas de encuestas y entrevistas, reflejaron resultados que permitieron establecer como conclusiones que las Tic's son un aliado en el proceso formativo de los estudiantes, como para el docente siendo un valioso recurso que apoya el proceso de enseñanza- aprendizaje, sin embargo los docentes no han sido capacitados recientemente en el uso de las Tic's; los estudiantes por su parte consideran que pocas veces se generan prácticas mediante la utilización de tecnologías de Información y comunicación. Se validó la hipótesis a través de una muestra de los estudiantes de Ingeniería Civil, Eléctrica y Naval de la Facultad de Ingeniería, donde se comprobó que el uso de la Tic's inciden significativamente en el proceso formativo de

los estudiantes.

Palabras claves: docentes, estudiantes, incidencia, enseñanza-aprendizaje, Tic's.

USE OF ICT'S AND THEIR IMPACT ON THE FORMATIVE PROCESS OF ENGINEERING STUDENTS

Abstract

This research is made based in the problematic displayed in the Faculty of Engineering of the University Laica Eloy Alfaro de Manabí, where the scarce use of the Tic's impedes a change in the formative processes of the students, carried to a study that had as an objective: to investigate the use of ICT and its impact on the training process of Engineering students. A methodology was applied based on the information provided by the teachers and students, using the inductive method, with survey techniques and interviews, reflecting results that allowed to establish as conclusions that the Tic's are an ally in the students' training process, as for the teacher being a valuable resource that supports the teaching-learning process, however teachers have not been recently trained in the use of Tic's; Students, on the other hand, consider that practices are rarely generated through the use of information and communication technologies. The hypothesis was validated through a sample of students of Civil, Electrical and Naval Engineering of the Faculty of Engineering, where it was found that the use of the Tic's has a significant impact on the students learning process.

Keywords: teacher, students, advocacy, teaching- learning, Tic's.

Introducción

Las Tecnologías de Información y comunicación (TIC's) desde la última mitad del siglo XX ha sido relevante en todos los sectores de la sociedad, siendo en estos tiempos una herramienta que está presente en todos los ámbitos de la actividad humana. En la educación ha permitido generar cambios en la forma de enseñar y aprender, el acceso universal, sistemas más eficientes que sustentan su uso de en el proceso formativo de los estudiantes, frente a éstos retos y a los nuevos escenarios educativos, las Instituciones de Educación muestran la necesidad que las universidades garanticen un mejoramiento continuo en su gestión educativa, innovaciones que conlleven a propiciar cambios necesarios en la calidad académica, sin embargo, se han presentado serias dificultades como la inercia para continuar con cambios en los modelos de enseñanza y aprendizaje. (Ibarra, 2015)

Los referentes actuales promueven construcción de nuevos aprendizajes apoyadas en la TIC que implican mejora continua, la formación de los estudiantes demanda desafíos, competencias necesarias para el aprendizaje continuo. Lion (2012), señala a las competencias digitales como “uso específico de conocimiento, habilidades y destrezas relacionadas con el desarrollo de elementos y procesos que permiten utilizar de manera eficaz, eficiente e innovadora los instrumentos y recursos tecnológicos” y de acuerdo a lo que hacer referencia al informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2015) en el diseño de las nuevas pedagogías menciona que aún nos somos muy buenos, que estas pueden enriquecer una buena enseñanza; pero no pueden remplazar la enseñanza deficiente y que estas pueden ayudar a crear propios contextos de aprendizaje.

Loureiro (2006) señala que no sólo se debe centrar la atención en el equipamiento tecnológico de las instituciones, sino que se debe poner especial atención en la capacitación docente, pues son éstos los

encargados de fortalecer los procesos educativos mediante las TIC's, que deben ser vistas como la herramienta necesaria para llegar al fin educativo, a través de la práctica formativa.

En la facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), existe un Laboratorio de Computación, aulas de clases con proyectores, biblioteca equipada con computadoras que tienen acceso a internet, un sistema de gestión académica (aula virtual), que están a disposición de docentes y estudiantes; sin embargo, pese a tener éstas herramientas tecnológicas hay un número considerable de docentes que no se atreven a utilizar los medios disponibles, debido a que han tenido una escasa capacitación, o en algunos casos resistencia a utilizar estos medios, los estudiantes por su parte nacieron en una época de creciente uso de tecnologías de información y en la actualidad buscan diferentes formar para aprender.

Lo expuesto hace necesaria la investigación para determinar de qué manera influye el uso las TIC's en el proceso formativo de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la ULEAM, considerando la importancia y los efectos que genera la incorporación de las TIC's, y que su uso puede facilitar los procesos de enseñanza y conseguir una educación inclusiva, pero que su efectividad dependerá de la habilidad que los docentes y estudiantes tengan para interactuar con las herramientas tecnológicas.

Desarrollo

Concepciones Teóricas

Se define las TIC's como una concepción dinámica, cambios que surgieron desde el siglo XIX donde el teléfono era visto como una nueva tecnología, al igual que la aparición del televisor en la década de los 50, el computador, entre otros, pero que hoy dejaron de serlo y donde los accesorios miniaturizados permiten realizar mayores procesos y se encuentra de modo más accesible económicamente. El uso de la TIC's no

ha dejado de avanzar y propagarse a través de generaciones rompiendo las brechas digitales y sociales llegando a ser parte de actividades cotidianas del ser humano.

Las teorías cognitivas de Jean Piaget y Ausubel, entre otros, señalan que aprender es el resultado de descontrolar la asimilación de los estudiantes y que el entorno era de vital importancia en el aprendizaje y en las últimas década el uso de las TIC's en la educación ha sido un tema relevante, temas que enfocan: Incidencia del cambio tecnológico, (Pineda y Villalobos, 1999) las ventajas de las TIC para el proceso enseñanza-aprendizaje (Ferro, Martínez, y Otero, 2009), las prácticas que se siguen respecto al acceso, uso y apropiación de las TIC (Crovi, 2009), el impacto de las tecnologías de la información y comunicación (Flores, Maza y Álvarez, 2010), las TIC's en la Educación Superior como vía de formación y desarrollo competencial (Molina, 2012), usos, funciones y efectos de las TIC's (Cuen y Ramírez, 2013) y uso de las TIC's y su influencia con la enseñanza y aprendizaje. (Vega, 2017)

Burítica (2010), publicó un artículo virtual sobre las Tecnologías de la información y la comunicación, manifestando que las TIC optimizan el uso de la información y el desarrollo de la comunicación, Marqués (2012) también presenta un enfoque de las formas básicas de uso de las TIC, señalando que éstas pueden ser usadas en el aula informática para aprender y como soporte, así como también un instrumento cognitivo para el aprendizaje distribuido.

Materiales y Métodos

El objetivo de estudio fue la investigación del uso de las Tic's y su incidencia en el proceso formativo de los estudiantes de Ingeniería, demostrando que es necesario hacer cambios en la formación de los estudiantes para mejorar calidad educativa, de hacer una cultura en los docentes el uso de herramientas tecnológicas fomentando el uso

de las Tic's en el aula de clases, para que los estudiantes mejoren las competencias en el campo laboral.

Para el análisis de los datos se consideró a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, siendo la población de estudio los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Civil, Naval y Eléctrica. En el cálculo de la muestra de los estudiantes se trabajó con un nivel de significancia del 95% y un margen de error del 5%, obteniéndose un total de 328 estudiantes. En la muestra de los docentes se trabajó también con un nivel de confianza del 95% y el margen de error del 3%, siendo la muestra de 31 docentes.

El método científico utilizado en la presente investigación fue: el método inductivo que permitió partir de casos particulares de un determinado número de estudiantes de la facultad de Ingeniería para obtener conclusiones generales; el método descriptivo se empleó para realizar la descripción de los datos cómo fueron y cómo se manifestaron las variables, se buscó especificar las propiedades importantes cuya información permitió medir y evaluar los componentes de la investigación. La técnica aplicada en la recolección de datos fue la encuesta, utilizando como instrumento el cuestionario que constó de 10 preguntas aplicado a los docentes y estudiantes de la facultad de Ingeniería de la ULEAM.

Resultados y Discusión

Uno de los propósitos principales en el proceso formativo de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la ULEAM, es diseñar y adoptar metodologías con el uso de herramientas tecnológicas en el proceso de enseñanza- aprendizaje, de modo que se aporte significativamente en el aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados obtenidos indican un gran número de docentes pocas veces y otros en ocasiones no hacen uso de las TIC en el salón de clase, conllevando a existir una barrera cultural para la apropiación de las TIC's

y una autonomía en los estudios, Zea (2007), existe una débil cultura tecnológica, lo que impide crear mayor productividad en los estudiantes que tienen dominio de estas herramientas, sin embargo, se debe considerar que las innovaciones metodológicas se han enriquecido con el uso de las TIC's y avanzar de manera conjunta en ésta autoformación es una de las nuevas exigencias de la sociedad, así como de las tres dimensiones del conocimiento: cognitiva, procedimental y actitudinal, mencionada por Álvarez (2005).

Se puede evidenciar un mediano nivel de compromiso con el mejoramiento profesional, por lo que Siemens (2010), expresa que las Instituciones educativas tienen falencias por no considerar cambios emergentes, por lo que es necesario prestar atención y aunque resulte forzoso que los profesores estén en constante formación y actualización por las políticas educativas, se debe saber que la profesionalización y capacitación está teniendo un impulso notable, por lo que se requiere que los docentes asuman un compromiso para mejorar sus competencias profesionales, ya que se tiene la responsabilidad de aportar a perfeccionar la calidad educativa.

Por otro lado, los docentes que han hecho utilización de las TIC's en el área educativa ha producido cambios en los estudiantes que reconocen la importancia y el grado de ayuda que puede ser en el proceso de enseñanza- aprendizaje, se ha logrado impactar de manera positiva en los docentes conllevando un interés en capacitarse y aprovechar las ventajas de las TIC's, en su labor educativa, de igual modo que los estudiantes consideran que estas son muy necesarias para su formación.

El uso de las TIC's en el proceso formativo de los alumnos incide de manera significativa, de modo que los docentes deben adaptarse a la nueva cultura tecnológica que abarca a la sociedad conocida actualmente como "Sociedad de la información", por lo que es necesario "desaprender" muchas cosas que en los actuales momentos "se hacen de manera diferente".

Tablas y Figuras

Encuesta realizada a docentes

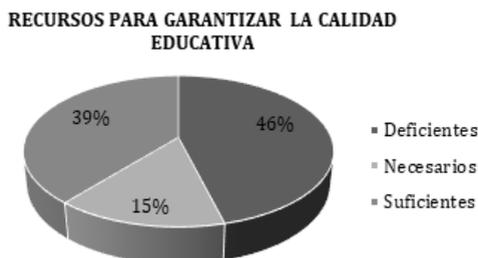


Figura 1. Recursos para garantizan la calidad Educativa

Al realizar la pregunta a los docentes para constatar si la Facultad de Ingeniería cuenta con recursos (humanos, económicos, técnicos, infraestructura) suficientes para garantizar la calidad de su desarrollo, el 46% de los docentes respondieron que son deficiente, el 15% seleccionaron que son los necesarios y el 39% que son suficientes. Estos datos demuestran que los recursos utilizados para llevar a cabo los programas de formación son deficientes para garantizar la calidad de su desarrollo.

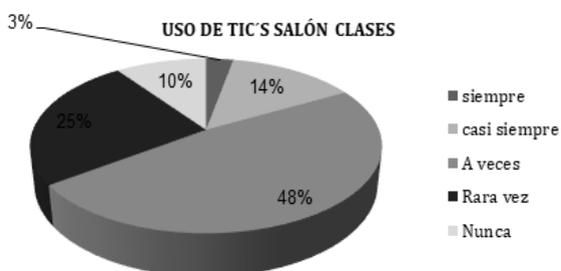


Figura 2. Uso de Tic's

Para conocer si los docentes hacen uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's: computadora, Internet, proyector, entre otros) además de otros recursos didácticos como: láminas, mapas conceptuales, cuadros sinópticos, etc., para apoyar el desarrollo de las estrategias de enseñanza-aprendizaje en el aula, los docentes respondieron: 3% siempre, 14% casi siempre, el 48% a veces, rara vez 25% y nunca el 10%. Estos resultados indican que hay un gran número de docentes que pocas veces hacen uso de las Tic's en el salón de clase.

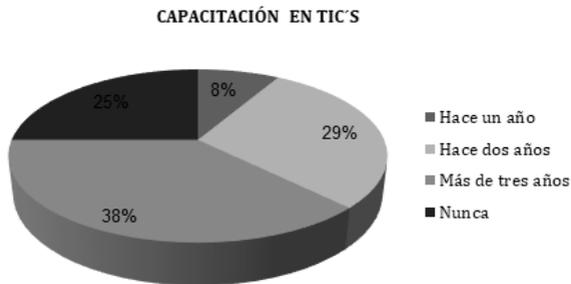


Figura 3. Capacitación en Tic's

Para conocer el promedio de tiempo en que los docentes se han capacitado en Tic's se obtuvo que: hace un año se capacitó el 8%, hace 2 años el 29%, más de 3 años el 38% y nunca el 25%. Estos resultados revelan que hay un grupo relevante de docente que no han recibido capacitación de las Tic's y un grupo mediano que se ha capacitado más de 3 años atrás, indicándonos que no se está actualizado en cuanto al uso de las Tic's.

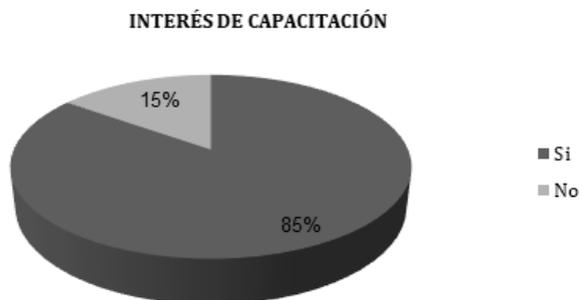


Figura 4. Interés de capacitación del uso de las Tic´s

Referente a la preguntar para conocer si los docentes consideran necesario que se dicten cursos especiales para el manejo de software y de formación en el uso de las Tic´s se obtuvo que: el 85% de los docentes manifestó que, si es necesario contar con estos cursos, mientras que un 15% señala que no lo considera necesario.

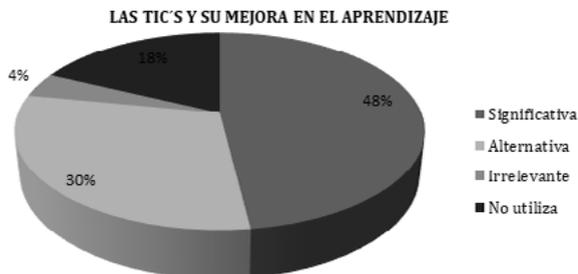


Figura 5. Uso de medios tecnológicos y la mejora de impartición de clases

Referente a la pregunta para conocer si la utilización de medios tecnológicos en el salón de clases contribuye a mejorar la impartición de clases y aprendizaje de los estudiantes, se obtuvo que: 48% manifiesta que las herramientas tecnológicas contribuyen de manera significativa, el 30% indica que dichos medios han contribuido de manera alternativa, un 18% manifiesta que ha sido irrelevante y el 4% contestó que no

utiliza herramientas tecnológicas. Estos resultados indican que existen mayormente resultados significativos la utilización de las tic's en los salones de clases.

Encuesta realizada a estudiantes

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA USO DE LAS TIC'S

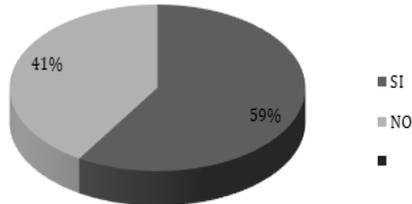


Figura 6. Herramientas Tecnológicas para uso de las Tic's

El resultado obtenido para conocer si la Facultad de Ingeniería cuenta con las herramientas tecnológicas para la utilización de las Tic's en el aula de clase, el 59% de los estudiantes indicaron que la facultad si cuenta con estas herramientas, mientras que un 41% manifiesta que no. Estos datos evidencian que mayormente se cuenta con aulas habilitadas para la utilización de las Tic's.

USO DE TIC'S EN SALONES DE CLASES

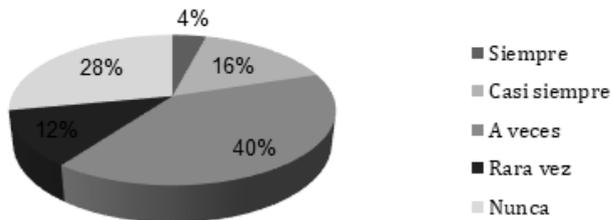


Figura 7. Uso de Tic's en el salón de clases

Para conocer la regularidad con que los docentes emplean las Tic's en el momento de impartir clases, los estudiantes respondieron que: el 4% siempre utilizan herramientas tecnológicas, el 16% manifestó que casi siempre, el 40% que a veces, el 12% señala que rara vez, mientras que un 28% manifiesta que no se hace uso de estas herramientas en los salones de clases. Estos datos evidencian que mayormente los docentes a veces hacen uso de Tic's en los salones de clases.

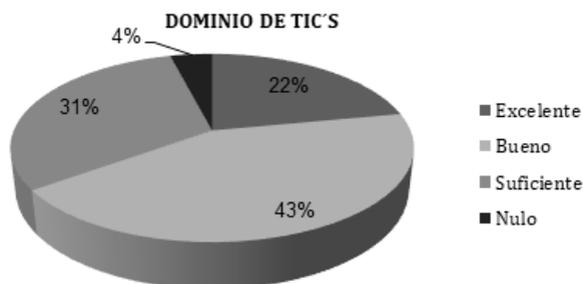


Figura 8. Dominio de las Tic's

De acuerdo a la pregunta para conocer el dominio que los estudiantes tienen de las Tic's, se obtuvo que: el 22% señala que el dominio de las Tic's es excelente, un 43% manifiesta que es bueno, un 31% el suficiente, mientras que un 4% no sabe cómo utilizarlas.

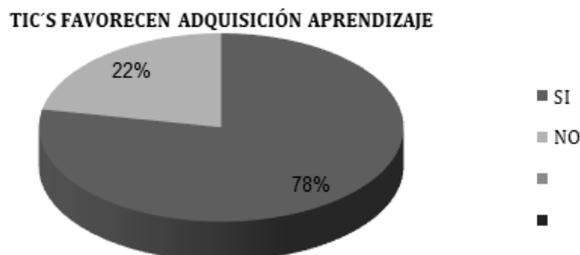


Figura 9. Las Tic's en la mejora de la enseñanza- aprendizaje

Referente a la pregunta que para conocer si los estudiantes consideran que las Tic's favorece en la formación de su aprendizaje, se obtuvo que el 78% considera que si y el 22% manifiesta que no es necesario. Estos datos demuestran que mayormente los estudiantes consideran importante el uso de la Tic's en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Conclusiones

1. Los docentes y estudiantes encuestados manifiestan que la Facultad de Ingeniería cuenta medianamente con los recursos tecnológicos en los salones de clases para la utilización de las Tic's en el proceso formativo de los estudiantes.

2. La frecuencia con que se hace uso de las herramientas tecnológicas en las aulas es relativamente baja. Entre los medios más utilizados se destaca el proyector y grupos de WhatsApp. Por otra parte, el aula virtual y correos electrónicos son poco utilizados, simuladores y blog casi nunca se hace uso de ellos.

3. Se evidencia que existen un grupo de docentes que no han sido capacitados recientemente en el uso de las TIC, lo que impide que pocas veces hagan uso de las mismas en el salón de clase. Sin embargo, se afirma que existe un gran interés en que se capacite en el uso de software especializados y uso de las TIC's.

4. Los docentes y estudiantes de la Facultad de Ingeniería conocen de las TIC's y su efecto que tiene en el proceso de enseñanza y aprendizaje y la utilización de estas herramientas ha contribuido de manera significativa; sin embargo, no siempre se hace uso de las mismas.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede determinar que el uso de las TIC's influyen significativamente en el proceso formativo de los estudiantes de Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; por lo cual es necesario implementar su uso de modo que pueda mejorar la calidad educativa en la enseñanza superior.

Bibliografía

- Avilés, G. (2011). La metodología indagatoria: una mirada hacia el parentizaje significativo desde "Charpack y Vygostsky". *Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica*, 133-144.
- Crovi. (2009). *Acceso, uso y apropiación de las TIC en comunidades académicas: diagnóstico de la UNAM*. México: Plaza y Valdéz.
- Cuen, C., y Ramírez, J. (2013). Usos, funciones y efectos de las TIC's en el aprendizaje de una licenciatura en Ciencias de la Comunicación. *EDUTECH*, 12.
- Ferro, C., Martínez, A., y Otero, M. (2009). Las ventajas de la TIC para el proceso enseñanza aprendizaje. *Eduotec-e*. Recuperado de edutec.es/revista/index.php/edutec-e/article/download/383/120
- García, G. (2003). *V Congreso de Regionalización Interuniversitario: Educación superior para todos*. Obtenido de <http://www.vinv.ucr.ac.cr/girasol-ediciones/archivo/girasol20/reguniv.htm>.
- Ibarra, N. (2015). *Investigación e innovación en Educación Superior*. Valencia: Universidad de Valencia - Editorial Digital.
- Latorre, M. (2013). *Metodología. Estrategias y Técnicas Metodológicas*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú N.º 2013-03670 .
- Lión, C. (2012). *Desarrollo de competencias digitales para portales de la región*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) División educación .Red Latinoamericana de Portales Educativos (RELPE).
- LOUREIRO, A. (2006). La escuela en la sociedad de las redes. Una introducción a las Tecnologías de información y comunicación en la educación. *Latinoamericana de Lectura*.
- Marqués G., P. (2012). Impacto de las TIC en la Educación: funciones y limitaciones. *3 Ciencias*, 10.
- Molina, A. (2012). Las TIC's en la Educación Superior como vía de

- formación y desarrollo competencial en la sociedad del conocimiento. *ReiDoCrea*, 15. Recuperado de <http://www.ugr.es/~miguelgr/ReiDoCrea-Vol.1-Art.15-Molina.pdf>
- OCDE, ". p. (2015). *Estudiantes, Computadoras y Aprendizaje*. Paris. Recuperado de www.oecd-ilibrary.org/content/book/9789264239555-es
- Pineda, M., y Villalobos, F. (1999). Incidencia del cambio tecnológico en la enseñanza del periodismo impreso. *Univeridad de Zulia*, 15. Recuperado de <http://produccioncientificaluz.org/index.php/encuentro/article/download/17548/17523>
- Piqué, B. y. (2012). *Propuestas metodológicas para la educación superior*. Barcelona: Universitat de Barcelona. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2445/30702>
- Rodríguez-Molina, G. (2011). *Funciones y rasgos del liderazgo pedagógico en los centros de enseñanza*. Educación y Educadores.
- Siemens, G. (2010). *Conociendo el Conocimiento*. Nodos Ele. Recuperado de <http://www.nodosele.com/editorial>
- UNESCO. (2014). *La UNESCO y la educación superior, 2014-2017: aportes de la Reunión de Cátedras UNESCO*. Paris.
- Vega, C. (2017). *Uso de las TIC's y su influencia con la enseñanza y aprendizaje*. Perú.
- Zea, C. (2007). *Programa Nacional de usos y medios de nuevas tecnologías y aproación de las TIC*. Medellín: Universidad EAFIC para MEN.

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PELDAÑOS DE ESCALERAS DE MADERA

Alexi Óscar Morán Guzmán

Docente de Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí. Ecuador.
Correo: alexi89@hotmail.com

Resumen

Se presenta el diseño de un software para el cálculo de peldaños de 4 tipos de escaleras de madera. Es solicitado por la Asociación Patronal de Carpinteros de Gipuzkoa (España), una entidad que se dedica exclusivamente al trabajo de la madera, y tiene la necesidad de crear un programa para poder calcular varios modelos de las mismas.

La Asociación de Carpinteros ensambla sus productos empleando únicamente la noción de la experiencia, dejando a un lado los procedimientos de cálculo de resistencia de materiales. Tras la regulación de este sector con la normativa europea, UNE-EN 16481 publicada en noviembre de 2014, se ve la necesidad de realizar una serie de comprobaciones con el fin cumplir unos estándares de calidad y seguridad.

Es por ello, que se establece un grupo de trabajo compuesto por un área de ingeniería civil y un área de informática para poder generar un prediseño de un programa de cálculo y obtener como resultado una memoria de cálculo de cada peldaño en estudio.

Palabras Claves. Madera, Cálculo, Diseño, Software, Optimización, Norma UNE-EN 16481, Resistencias características.

PROGRAM FOR CALCULATING THE STAIRS OF WOOD LADDERS

Abstract

The design of a software for the calculation of rungs of 4 types of wooden stairs is presented. It is requested by the Association of Carpenters of Gipuzkoa (Spain), an entity dedicated exclusively to the work of wood, and has the need to create a program to be able to calculate several models of the same.

The Association of Carpenters assembles its products using only the notion of experience, leaving aside the methods of calculating resistance of materials. Following the regulation of this sector with European regulations, UNE-EN 16481 published in November 2014, it is necessary to carry out a series of checks in order to meet quality and safety standards.

It is for this reason that a working group composed of a civil engineering area and a computer area is established to be able to generate a pre-design of a calculation program and to obtain as a result a calculation memory of each step in study.

Keywords: Wood, Calculation, Design, Software, Optimization, UNE-EN 16481, characteristic resistances.

Introducción

El objetivo de este proyecto consiste en realizar una serie de comprobaciones de tipo estructural para diferentes peldaños de escalera, de acuerdo a la normativa vigente, y posteriormente traducirlo al lenguaje informático para poder crear el diseño del software deseado.

Para dicho proyecto se emplea la normativa europea UNE-EN 16481:2014 "Escaleras de madera. Diseño estructural. Métodos de cálculo", publicada en noviembre de 2014, que establece los siguientes tipos de peldaños: peldaños rectos, peldaños compensados y peldaños de rincón.

La ejecución del trabajo comienza con la generación de una serie de

comprobaciones para cada tipo de peldaño que se realiza con la ayuda de las hojas de cálculo de Microsoft Excel. Posteriormente, tras una serie de correcciones y comprobaciones de errores, se traduce al lenguaje informático para poder crear el prediseño del software deseado.

Marco teórico

Clases de servicio

La madera es un producto anisotrópico, con diferentes características de resistencias y elasticidad según la dirección de estudio. Así pues, a la hora de determinar el tipo de protección y el índice de penetración que requiere, según el ámbito en el que se encuentra, se definen tres diferentes clases de servicio según el Código Técnico Español (CTE), donde se tienen en cuenta los efectos de las condiciones ambientales:

I. Clase de servicio 1: Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año. Estas condiciones vienen a corresponder a un edificio protegido, con una humedad de equilibrio higroscópico de la madera $\leq 12\%$ para coníferas.

II. Clase de servicio 2: Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. Estas condiciones pueden corresponder a una piscina cubierta o a cobertizos o marquesinas abiertas, donde el contenido de humedad medio en la mayoría de coníferas no excede el 20%.

III. Clase de servicio 3: Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2, por ejemplo, el caso de una pasarela o puente, situada totalmente al exterior y expuesto.

En el cálculo de escaleras de madera, hay que recalcar que sólo se ha estudiado el caso de una escalera ubicada en un espacio interior, cubierto y cerrado. Es decir, para un tipo de CLASE 1. Para los casos de clase de servicio 2 y 3, el software no se considera válido, dado que habría que estudiar otro tipo de cargas actuantes tales como las de viento o nieve además de la durabilidad debido a ambientes más agresivos.

Clases resistentes

Para poder clasificar estructuralmente la madera en Europa, el Comité Técnico CEN/TV 124, decidió crear un Sistema Europeo de Clases Resistentes que se recogió en la normativa UNE EN 338 en 1995. Con esta nueva norma, se catalogaron las clases más conocidas y utilizadas para maderas coníferas (C-14 a C-40) y para maderas frondosas (D-30 a D-70).

Mediante ensayos en laboratorio, se le asignaron una serie de valores para cada propiedad necesaria en el cálculo estructural (resistencia a flexión, tracción, compresión, cortante, módulos de elasticidad etc., así como las densidades medias y características).

En España, el Documento Básico SE-M, que se basa en la normativa europea Eurocódigos, es el encargado de clasificar los distintos tipos de madera según su origen y su clase resistente. Para ello, propone una serie de tablas donde se muestra un resumen de todas las características anteriormente descritas.

Se muestran a continuación, los tipos de madera que pueden ser utilizadas para el cálculo de las escaleras.

Tabla 1. Clasificación de la madera maciza según su resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$, valor expresado en N/mm².

Madera maciza	
Coníferas y chopo	C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50
Frondosas	D30, D35, D40, D50, D60 y D70

Tabla 2. Clasificación de la madera laminada encolada según su resistencia característica a flexión, $f_{m,g,k}$, valor expresado en N/mm²

Madera laminada encolada	
Madera laminada encolada homogénea	GL24h, GL28h, GL32h y GL36h

Se ha tenido conocimiento que el tipo de madera más empleada por estos profesionales de la Asociación Arotzgi, son el elondo, el pino y el roble. No obstante, se ha permitido la posibilidad de poder crear su propio material con las características que ellos proporcionen. Cabe aclarar que todas aquellas clases nuevas de madera que se aporten serán tomadas bajo la responsabilidad del usuario ya que no están normalizadas.

Métodos y normativa

En los capítulos de la UNE-16481:2014, se definen los requisitos y procedimientos de verificación esenciales para poder cumplir las resistencias mecánicas de las escaleras de madera tanto en su estado límite último (E.L.U.), como en su estado de servicio (E.L.S.). La norma, por tanto, establece el diseño y los requisitos correspondientes a la madera para poder cumplir la estabilidad de la estructura.

Acciones en el peldaño

A la hora de establecer las acciones que se aplican sobre los peldaños en estático, se han seguido las recomendaciones de las siguientes normativas.

I. EN-1990, Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.

EN 1991-1-1:2002, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1. Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios.

II. CTE SE-M, Documento Básico del CTE. Estructuras de madera.

III. CTE-SE-AE. Documento Básico del CTE. Seguridad Estructural. Acciones de la edificación.

En todas ellas se establece prácticamente el mismo método y los mismos valores de cálculo; por tanto, se resumen a continuación, las cargas que actúan directa e indirectamente sobre el peldaño en un ambiente de CLASE 1, es decir, una zona interior cerrada.

I. Peso propio (G_k): corresponde al peso propio de los peldaños y se han fijado los valores a partir de las densidades ensayadas por la DIN-EN-338-2003 y recogidas también por el Código Técnico en su Documento Básico, “estructuras de madera”.

II. Sobrecarga de uso: son las acciones libres variables que puede gravitar sobre la estructura en cálculo. Así pues, se han considerado dos casos de estudio en función de la repartición de cargas sobre un peldaño de madera.

De esta manera, se considera en el CASO 1, una carga uniformemente repartida, cuando el usuario se encuentra apoyado con ambos pies sobre un peldaño y un CASO 2, cuando el usuario se apoya y se impulsa con un pie puntualmente en el centro del vano y por tanto, genera mayores

deformaciones en la zona central.

I. CASO 1: (qk_1), Carga vertical uniformemente repartida [kN/m^2] conforme al CTE SE-AE, $2kN/m^2 + 1kN/m^2 = 3kN/m^2$. Ver tabla 6. El valor aplicado es $qk_1 = 3 kN/m^2$.

II. CASO 2: (Qk_1), Carga puntual concentrada [kN] conforme al CTE SE-AE. El valor aplicado en el centro del peldaño es $Qk_1 = 2 kN$.

Comprobación de capacidad de carga a flexión

Una vez definidos los ejes en una pieza de madera de sección constante, ya sea aserrada o encolada, donde la dirección de la fibra es paralela a la longitud de la pieza y va estar sometida únicamente a tensiones ortogonales, se definen a continuación, las comprobaciones que se han realizado.

A la hora de calcular y comprobar cada uno de los esfuerzos a los que han sido sometidos los peldaños de madera, se ha seguido en todo momento las leyes de resistencia de materiales que exige el Documento Básico del CTE SE-M.

Así pues, de una forma sencilla de entender, la resistencia de materiales se basa en comparar la tensión que soporta un material frente a los esfuerzos a los que está sometido. Por tanto, en este caso, hay que entender que la tensión de la resistencia del material debe ser siempre mayor que la tensión a la que trabaja o como se aclara en la siguiente fórmula:

$$\sigma_{m,90,d} \leq X_d \tag{1}$$

$\sigma_{m,90,d}$: tensión de cálculo a flexión (N/mm).

X_d : resistencia de cálculo a flexión (N/mm).

La resistencia de la madera depende a su vez de varios factores que se explican a continuación:

$$X_d = k_{mod} * (X_k / Y_m) \tag{2}$$

X_k : valor característico de la resistencia de la madera (N/mm²).

Y_m : coeficiente parcial de seguridad para la resistencia de la madera.

K_{mod} : factor de modificación de la combinación de carga y la clase de servicio.

Tabla 3. Coeficientes parciales de seguridad de la madera, Y_M . CTE SE-M, Documento Básico del CTE. Estructuras de madera

Situaciones persistentes y transitorias:	
Madera maciza	1,3
Madera laminada encolada	1,25
Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1,2
Tablero de partículas y tableros de fibras (duros, medios, densidad media)	1,2
Uniones	1,3
Placas clavo	1,25
Situaciones extraordinarias	1

El otro factor implicado que corrige la resistencia característica de la madera es el factor K_{mod} , que se encarga de tener en cuenta la duración de la carga, así como el contenido de humedad del elemento o la clase de servicio.

Para el caso en estudio, se han tomado los valores de $K_{mod}=1.1$, según aclara la siguiente definición del CTE-SE-M.

Para los peldaños calculados, las cargas actuantes son de tipo permanente y de tipo instantáneo. Con este razonamiento, se ha elegido el coeficiente que asigna la carga con menor duración, es decir, la instantánea.

De una manera más aclaratoria, se muestra una tabla con ejemplos reales, duraciones y las clases de duración asignadas.

Tabla 4. Clases de duración de carga. Fuente: CTE SE-M, Documento Básico del CTE. Estructuras de madera.

Clase de duración	Duración	Ejemplos
Permanente	>10 años	Peso propio, tabiquería
Larga duración	6 meses-10 años	Nieve (s. casos)
Media duración	1 semana-6 meses	Sobrecarga de uso
Corta duración	<1 semana	Nieve, viento
Instantánea		Sismo

Por otra parte, hay que definir la tensión de cálculo a flexión que sufren los peldaños de una escalera. Se representa por las letras, $\sigma_{m,90,d}$ y depende directamente del momento flector que actúa sobre ellos.

$$\sigma_{m,90,d} = M_d / W \quad (3)$$

$\sigma_{m,90,d}$: tensión de cálculo a flexión (N/mm²).

M_d : momento flector máximo actuante sobre la sección en estudio (N*mm).

W: módulo resistente de la pieza de madera (mm³).

Así mismo, se define el módulo resistente para una pieza de madera de sección rectangular y constante en toda su longitud:

$$W = b * h^2 / 6 \quad (4)$$

Una vez se calculan ambas tensiones, tanto la de resistencia propia del material como la de cálculo, se utiliza un índice de aprovechamiento, I_m , para comparar y observar en qué porcentaje del total trabaja dicha

pieza. Se resume dicho índice según la siguiente fórmula.

$$I_m = \sigma_{m,90,d} / X_d \quad (5)$$

Comprobación de la capacidad de carga

A pesar de que un peldaño trabaja generalmente a flexión, hay que considerar también el fallo por cortante debido a una excesiva carga puntual. Generalmente no suele ser el caso en vigas cortas con cargas poco importantes pero no obstante, se ha llevado a cabo su estudio.

Este fallo se produce por deslizamiento de las fibras centrales de zonas próximas a los apoyos, generando un plano de rotura más o menos limpio y alineado a las fibras. En este caso, se ha empleado para su estudio la ley de tensiones tangenciales enunciado en la teoría de estructuras.

De la misma forma que se ha ensayado la flexión simple, en la comprobación a cortante, se compara la tensión admisible resistente del material con la tensión propia a la que está trabajando.

Por tanto, según lo enunciado, se hace cumplir la siguiente fórmula:

$$\zeta_d \leq f_{v,d} \quad (6)$$

ζ_d : tensión de cálculo de cortante

$f_{v,d}$: resistencia de cálculo de cortante

La resistencia a cortante del material viene corregida por los factores (K_{mod} y γ_m), de la misma forma que se definió en la flexión simple. La fórmula de la resistencia a cortante de la madera viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{v,d} = (K_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_m \quad (7)$$

$f_{v,k}$: resistencia característica a compresión de la madera (N/mm²).

Y_m : coeficiente parcial de seguridad para la resistencia de la madera.

K_{mod} : factor de modificación, se tienen en cuenta la clase de duración de la combinación de carga y la clase de servicio.

Por último, para relacionar ambas tensiones de cálculo, se emplea el índice de aprovechamiento a cortante, I_v , que está comprendido entre 0-1, siendo la unidad la máxima capacidad que tiene el material para trabajar y cero, la mínima.

$$I_v = \zeta_d / f_{v,d} \quad (8)$$

Combinación de acciones (E.L.U./E.L.S.)

Para prever las posibles situaciones de carga que pueda sufrir un peldaño en su vida útil, hay que considerar una serie de combinaciones de acciones tanto en un estado de servicio como en un estado último.

Las combinaciones de acciones que se han tenido en cuenta en la aptitud de servicio **(E.L.S.)** son las siguientes:

Combinación 1:

$$E = 1 * G_k + 1 * q_{k,1} \quad (9)$$

G_k : carga permanente. Peso propio del peldaño

$q_{k,1}$: cargas variables. Sobrecargas de uso.

Las combinaciones de acciones que se han tenido en cuenta en la aptitud de límite último **(E.L.U.)** son las siguientes:

Combinación 1:

$$E = 1,35 * G_k \quad (10)$$

Combinación 2:

$$E_{d3}=1,35*G_k+1,50*q_{k,1} \quad (11)$$

Las combinaciones de acciones que se han tenido en cuenta en la comprobación al fuego son las siguientes:

Combinación 1:

$$E_{d3}=1*G_k+0,50*q_{k,1} \quad (12)$$

Modelización de los sistemas estáticos de los casos de estudio

Una vez conocida la resistencia de cálculo de la madera, las cargas que van a actuar y las combinaciones de acciones de éstas, el siguiente paso es el de definir un modelo estructural en base a unos tipos de apoyos. El objetivo de ello, es establecer las leyes de esfuerzos necesarias para su cálculo y comprobación.

Basándose en la normativa UNE-EN-16481 “Diseño estructural de escaleras de madera”, se han definido los siguientes modelos de cálculo. Cabe aclarar, que los casos de estudio son los siguientes:

- Peldaños de zanca con entalladura: se define para un peldaño recto empotrado en una zanca con entalladura, se corresponde con el de una viga sobre apoyos simple.

- Peldaño sobre zanca de cremallera: compensados se definen como aquellos que tienen una sección transversal variable en su longitud y se identifican como escalones de transición hasta llegar al peldaño de rincón.

- Peldaño compensado en zanca con entalladura: se definen como aquellos que tienen una sección transversal variable en su longitud y se identifican como escalones de transición hasta llegar al peldaño de rincón

- Peldaño de rincón con entalladura en zanca: Se identifica por ser el peldaño de esquina entre los encuentros de dos zancas de escalera

Situación de incendio

A la hora de hablar de una estructura de madera, se ve como un producto poco duradero y muy fácil de ser consumido por las llamas.

Es cierto que es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas aunque consigue quemarse primeramente por su perímetro exterior y lentamente ir consumiéndose hacia su interior, a una velocidad que se denomina “velocidad de carbonatación”. Esto se debe al buen aislamiento térmico interno que impide que se alcancen altas temperaturas y que se produzca una pérdida de resistencia.

Por tanto, a la hora de calcular la capacidad portante de los peldaños ante una situación de incendio, la pérdida de resistencia de la misma se debe exclusivamente a la reducción de su sección.

Método de la sección reducida simplificado

Para realizar las comprobaciones oportunas en lo referente a situación de incendio, se ha empleado el método de la sección reducida simplificada definida en el Documento Básico de Seguridad en caso de incendio DB-SI.

Este método establece que una vez quemada la zona exterior del peldaño de madera, se obtiene una sección reducida de madera tal imagen y se debe realizar la comprobación de su capacidad portante según el DB-SE-M.

Se define por tanto, la profundidad eficaz de carbonatación, d_{ef} , que es la profundidad de penetración del fuego en el tiempo estudiado. Así pues, se definen las siguientes variables que dependen de él:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_o * d_o \quad (13)$$

d_{ef} : profundidad eficaz de carbonatación (mm).

$d_{char,n}$: profundidad carbonizada nominal de cálculo (mm).

d_o : de valor igual a 7mm.

k_o : coeficiente de valor igual a 1 para tiempos mayores a 20 min e igual

a t/20 para tiempos menores. Para los casos de estudio de los peldaños, se ha calculado para un tiempo de 30 min según las exigencias del CTE.

Tabla 5. Tiempos de resistencia al fuego. Fuente CTE.

Uso del sector de incendio considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		<15m	<28m	≥28m
Vivienda unifamiliar	R30	R30		
Residencial vivienda, residencial pública, docente, administrativo	R120	R60	R90	R120
Comercial, pública concurrencia	R120	R90	R120	R180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)	R90			
Aparcamiento (situado bajo un uso)	R120			

Se define también a su vez, la profundidad carbonizada nominal que depende de otros factores como se observa en la siguiente fórmula:

$$d_{\text{char},n} = \beta_n * t \quad (14)$$

β_n :velocidad de carbonatación nominal (mm/min). Se ha tomado el valor de 0,70 para madera laminada y de 0,80 para madera maciza.

t: duración de exposición al fuego (min). Se han calculado los peldaños para un tiempo de exposición de 30 min (h<15m, vivienda unifamiliar).

Tabla 6. Velocidad de carbonatación nominal de cálculo, β_n . Fuente: C.T.E.

	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 ⁽¹⁾	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m³, se interpolará linealmente

Resultados

Una vez diseñado el programa de cálculo y habiendo pasado una fase de comprobaciones, se muestra a continuación un ejemplo de cálculo de un peldaño estándar empotrado en zanca.

Introducción de datos generales

En este ejemplo, los datos necesarios a introducir están marcados con un asterisco rojo. Se puede introducir el nombre del peldaño, el tipo de material, las distintas características geométricas así como la clase resistente o el tipo de uso.

Los campos marcados con * son obligatorios.

Nombre *	Longitud (L) *
Perfilado voladizo	1.200 mm
Altura (H) *	
80 mm	
Ancho (B) *	¶ Voladizo *
300 mm	250 mm
Ancho del voladizo (B) *	Altura del voladizo (H) *
300 mm	90 mm
Tipo de material *	Clase resistente *
Madera maciza	C18
Tipo de servicio *	Tipo de simultaneidad *
Clase de servicio 1	Zonas resistentes (Categoría A)
Tipo de uso *	Tipo de altura de evacuación *
Vivienda unifamiliar	< 15m

Diagrama: Lvoladizo Lpeldaño Lvoladizo. Dimensiones H y B. Etiqueta 'dranca'.

Figura 7. Presentación del programa. Datos generales.

Comprobaciones de cálculo

Se recogen los resultados de las comprobaciones a flexión con su gráfico de momentos incluido.



Figura 8. Presentación del programa. Comprobaciones de cálculo a momento flector ante carga repartida.

Bibliografía

- Código Técnico de la Edificación (CTE) (2006). *Seguridad en caso de incendio*. Texto Oficial, Madrid.
- CTE. (2006). *Seguridad Estructural: SE1 Resistencia y Estabilidad: SE2 Aptitud al Servicio: Código Técnico de la Edificación*: Texto Oficial.
- AENOR. (2003). *Asociación Española de Normalización y Certificación, Madera Estructural*. Madrid.
- UNE-EN-16481:2014. (2014). *Escaleras de madera. Diseño estructural. Métodos de cálculo*. Nov.
- SE-AE. DOCUMENTO BÁSICO. (2009). *Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*. Código Técnico de la Edificación. Rev. Abril.
- SE-M. DOCUMENTO BÁSICO. (2009). *Seguridad Estructural. Madera. Código Técnico de la Edificación 2009*. Rev. Abril.
- UNE-EN-1991-1.1. EUROCÓDIGO 1. *Acciones en estructuras. Parte 1.1. Acciones generales*.
- UNE-EN-1995-1.1. EUROCÓDIGO 5. *Proyectos de estructuras de madera. Parte 1.1. Reglas generales y reglas para la edificación*.
- UNE-EN-1995-1.2. EUROCÓDIGO 5. *Proyectos de estructuras de madera. Parte 1.2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*.
- UNE-EN-338. (1996). *Madera estructural. Clases resistentes*.

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA CADENA DE BLOQUES (BLOCKCHAIN) EN EL REGISTRO INMOBILIARIO EN LA CIUDAD DE MANTA

Juan Carlos Pico Pillasagua

Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ecuador.
Ingeniero en Sistemas.

Correo: jpicipillasagua@gmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es resaltar las ventajas de la tecnología blockchain, una tecnología informática para trámites virtuales en los Registro de Bienes Raíces de los Gobiernos Municipales del Ecuador caracterizada por su alta seguridad. A partir de un análisis del flujo de información en los procesos actuales del Registro de Inmobiliario en la institución denominada Registro de Propiedad en la ciudad de Manta, se constató la necesidad de mejorar la seguridad de los datos. Para proponer la implementación de cadena de bloques se empleó una metodología exploratoria en el departamento del Registro de la Propiedad. Fundamentalmente se dio a conocer los beneficios de adoptar esta tecnología para asegurar los datos y a la vez lograr la integración entre los diferentes Registro de Propiedad del País en cuanto a datos enviados a la DINARDAP (Dirección Nacional de Registro de Datos Públicos).

Palabras clave: cadena de bloques, registro de propiedad, seguridad de datos, inmobiliario.

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY APPLIED FOR THE REAL ESTATE REGISTRY FOR THE CITY OF MANTA

Abstract

The objective of this work is to highlight the advantages of blockchain technology, a computer technology for virtual procedures in the Real State Registry of the Municipal Governments of Ecuador characterized by its high security. Based on an analysis of the information flow in the current processes of the Real State Registry in the institution named Property Registry in the city of Manta, it was verified the need to improve the security of the data. In order to propose the block chain implementation, an exploratory methodology was used in the Property Registry department. Fundamentally, the benefits of adopting this technology is to secure data and at the same time to integrate the different Country Property Registry in terms of data sent to DINARDAP (National Registry of Public Data) were announced.

Key words: block chain, property registration, data security, real estate.

Introducción

En la era digital, la importancia de la seguridad de datos es preponderante no solo en el sistema financiero, sino también en diversos procesos administrativos. La tecnología de cadena de bloques (*blockchain*, en inglés) ha revolucionado el mundo tecnológico en cuanto a tema de confianza y seguridad debido a que es una herramienta cuyo sistema de transferencia es prácticamente imposible de hackear de tal manera por lo que se convierte en una fuente de confianza distribuida.

La tecnología llamada cadena de bloques consiste en un protocolo criptográfico implementado como soporte para el bitcoin en el 2008. En síntesis, se basa en integrar ficheros informáticos, relacionados matricialmente por identificadores o códigos (por ejemplo, alfanuméricos),

según combinaciones generadas con algoritmos, en múltiples ordenadores y de forma idéntica en todos. “Cuando un número suficiente de usuarios participa en el sistema, permite la perfecta, irreversible y sincrónica identificación del contenido incorporado a aquellos ficheros.” Javier (2016)

Y, contrariamente a la tendencia de centralizar el funcionamiento de determinados servicios –ya sea este un banco, un servidor de mensajería instantánea, una aplicación de red social–, es decir, un sistema que nos informa que la transacción o el mensaje se ha realizado con éxito, la tecnología blockchain funciona con una red descentralizada en la que varios nodos, llamados mineros, se encargan de realizar la validación o aprobación de la transacción. Como los servicios se comprueban por consenso entre estos nodos, se ha dicho que blockchain es un libro público de contabilidad, ya sea de transacciones, acuerdos, contratos, etc., dentro de una red distribuida. Cualquier transacción necesita ser registrada y verificada independientemente, lo que equivale a un instrumento registral o tabular compartido, una de sus principales características frente a otros métodos centralizados.

Planteamiento del problema

El Registro de la Propiedad es una institución pública destinada a crear titularidades sobre los bienes públicos en virtud de poder público y publicita la situación jurídica de los inmuebles. De esa forma, permite el tráfico jurídico, el acceso controlado, informar al público y la interoperabilidad entre las instituciones públicas y privadas. “Su principal fin es brindar información confiable a las personas sobre la propiedad, impuestos o limitaciones que aplican a un bien inmueble para la realización de algún tipo de contrato, con lo que se brinda seguridad jurídica a los actos realizados sobre los distintos inmuebles, pues garantiza la autenticidad y seguridad de los títulos, documentos que deben registrarse”. (Registro de la propiedad, 2013)

Justificación

En la Ciudad de Manta, el Departamento de Registro de la Propiedad adscrito al Municipio actualmente realiza el proceso de adjudicación de un bien al solicitante mediante un sistema transaccional llamado SIGRE. En este sistema, la información se almacena en servidores locales lo que lo vuelve vulnerable a un ataque de cibernautas.

Las instituciones públicas de Registro de propiedad, a través de la Ley de Comercio Electrónico, Firmas y Mensajes de Datos vigente desde 2002, reconocen en su artículo 2 que “los mensajes de datos tendrán igual valor jurídico que los documentos escritos”.

Basados en esta ley la implementación de estos procesos de registro de propiedad en la web tiene igual valor jurídico lo cual no sería una limitante en el proceso de implementación, tal como explicamos la tecnología blockchain garantizará que dicha transacción que se realice sea inalterable, este se convierte en uno de los puntos fuertes dentro de una institución de gran sensibilidad en el país, sin embargo, como se cita según el artículo del diario El Comercio este cambio ha sido lento.

Objetivo

Los Municipios son los encargados de la administración de los registros de la propiedad de cada cantón, es por eso que ellos están a cargo también de la recaudación de impuestos relacionados sobre los inmuebles. Bajo este principio, la propuesta de esta investigación consiste en instaurar las bases para implementar el blockchain a este proceso, con base en las regulaciones emitidas por los organismos Rectores y de Control, de manera que se cumplan con las disposiciones vigentes.

Materiales y métodos

La implementación de nuevas tecnologías y la automatización de los procesos resultan esenciales en la sociedad moderna. Primero, porque

beneficia a los usuarios por su rapidez y eficiencia: los trámites se pueden solicitar en menos tiempo. En segundo lugar, porque evita que el usuario deba trasladarse continuamente al Registro de propiedad para solicitar cualquier tipo de certificados emitidos.

La investigación se desarrolló la ciudad de Manta, en el departamento Registro de la propiedad adscrito al municipio de la misma ciudad, donde se conoció la situación actual del departamento de Registro de la Propiedad para poder reconocer las vulnerabilidades que a lo largo de su funcionamiento a la ciudadanía que posee. En la Figura 1 se detalla el flujo de información de un departamento de Registro de la Propiedad a fin de mostrar un diagnóstico de la situación actual.

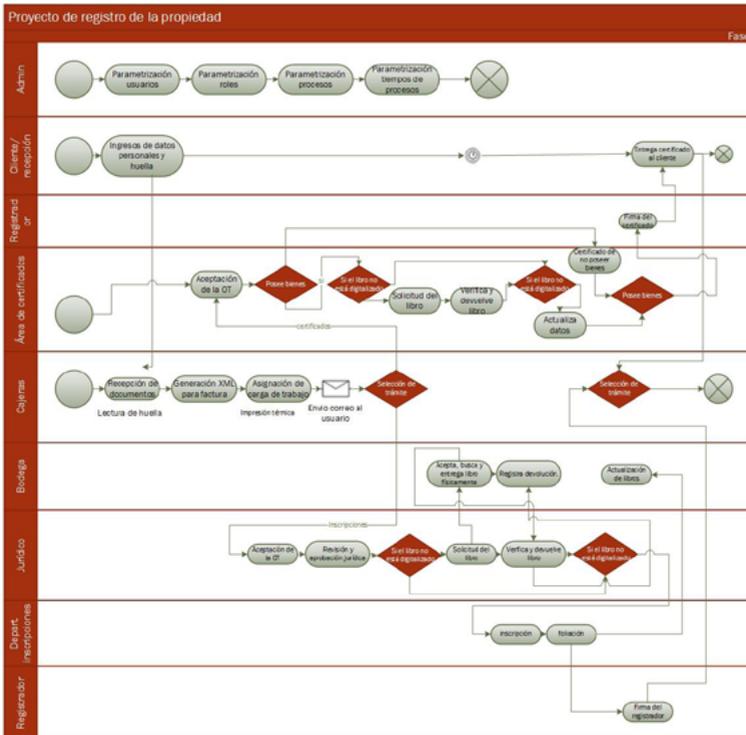


Figura 1. Diagrama de flujo de la información del Registro de la propiedad

CÓMO FUNCIONA LA CADENA DE BLOQUES EN EL REGISTRO DE LA PROPIEDAD

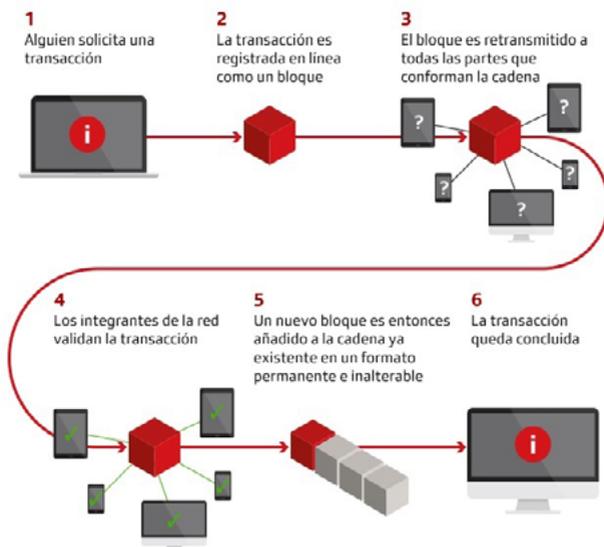


Figura 2. Funcionamiento de la cadena de bloques en el proceso de registro de propiedad

Además, luego de realizar entrevistas con usuarios y funcionarios del Registro de la Propiedad de la ciudad de Manta, en las que se analizaron los procesos realizados, el punto de vista de los usuarios al acceder al servicio que brinda dicho departamento y las limitaciones del sistema actual, se comprobó que la implementación de la nueva tecnología se torna necesaria ya que facilitará demostrar de manera inequívoca la titularidad de algún bien inmobiliario a su correspondiente dueño.

Tabla 1: Procesos que se realizan en el Registro de la propiedad de la ciudad de Manta. Fuente: Registro de la propiedad de la ciudad de Manta

Nº	DENOMINACIÓN DEL LIBRO	REGISTRO AL QUE PERTENECE	Nº DE TOMO	AÑO	Nº DE INSCRIPCIÓN DE FIN DE TOMO	TOTAL DE INSCRIPCIONES CONTENIDAS EN EL TOMO
1	Propiedad	Propiedad	1	2016	361	361
2	Hipotecas	Propiedad	1	2016	268	268
3	Prohibiciones	Propiedad	1	2016	30	30
4	Cancelaciones	Propiedad	1	2016	97	97
5	Demandas	Propiedad	1	2016	15	15
6	Embargos	Propiedad	1	2016	4	4
7	Utilidad pública	Propiedad	1	2016	5	5
8	Nombramientos	Mercantil	1	2016	6	6
9	Disoluciones	Mercantil	1	2016	1	1
10	Cancelaciones	Mercantil	1	2016	2	2

Disponer de la lista de procesos que se realizan en el Departamento de registro de la propiedad, suscritos en la Tabla 1, resulta sustancial para definir en qué departamento existe vulnerabilidad.

Además, la información permite el análisis, diseño y desarrollo del modelo de aplicación, considerando que todas las funciones de los notarios, de los registradores de la propiedad, del catastro, de los jueces, de los geómetras, de los topógrafos, están integradas en el sistema transaccional cuyos servidores se encuentran alojados localmente en el departamento del Registro de la Propiedad.

Por lo tanto, la tecnología de cadena de bloques debe coexistir con una aplicación *on line* que ayuda al usuario a realizar sus trámites de

registro mobiliario desde la comodidad de su hogar.

“Vale la pena recordar que las cadenas de bloques del registro de inmobiliario buscan solucionar estos problemas a través del uso de hashes, que identifican cada transacción de bienes raíces, lo que la hace públicamente disponible y auditable”. (CryptoSolutions, 2017)

Resultados y discusión

La tecnología criptográfica aquí propuesta también pretende dar confianza en el momento en que el usuario realice alguna transacción en línea ya sea gravamen, búsqueda, estatuto personal, bienes raíces y ventas. Una vez que el proceso se incorpore la tecnología blockchain el proceso sería el siguiente: el usuario solicitará una clave en el portal del Registro de la propiedad, lo que le permitirá iniciar la petición del trámite requerido.

El segundo paso será realizar el pago del documento en el sistema financiero nacional, lo que bien podría ser hecho vía transferencia. Una vez que el registro reciba la notificación de que la petición fue cancelada, efectuará el estudio del estado legal de la propiedad, con una demora de cinco días laborables. Tras el análisis, la autoridad competente firmará electrónicamente el documento rúbrica, avalada por el Banco Central del Ecuador, archivará en la Cadena de bloque con un Nonce (en criptografía, el término se refiere a un valor que solamente puede ser usado una vez). Finalmente, al usuario se le enviará un código de verificación, que deberá ingresar en el portal, para la obtención del certificado, el cual se le enviará a su correo electrónico.

“Aunque la compraventa inmobiliaria con monedas virtuales como Bitcoin o Ethereum todavía parece un concepto lejano, el sector inmobiliario comercial podría estar a punto de adoptar la tecnología criptográfica entre pares en forma de cadena de bloques”. (Aecom, 2017)

No obstante, existen países, como el caso de Honduras, que ya se han

planteado seriamente implementar el uso de la cadena de bloques para asumir las funciones y tareas del registro de la propiedad, en colaboración con Factom, una empresa de tecnología blockchain estadounidense con sede en Texas.

No todo es perfecto, claro. Uno de los problemas de este sistema consiste en su relativa lentitud: la prueba de trabajo que se necesita para verificar todo el proceso tarda en conseguirse, lo que implica que los procesos en tiempo real puedan salir perjudicados. En Blockchain.info se muestran tiempos de espera promedio para confirmar las transacciones que oscilan entre los seis y los once minutos. Pero si se reduce el tiempo de obtención de la prueba de trabajo, podemos debilitar la seguridad de toda la transacción. Pese a ello, las ventajas superan ese inconveniente y otros que plantean diversas alternativas que tratan de "reforzar" la cadena de bloques original de bitcoin con nuevas prestaciones. (Pastor, 2015)

Conclusiones

1. La tecnología que proponemos en este trabajo supone emplear un nuevo Internet. En unos pocos años enviar la titularidad de algo constituirá una práctica cotidiana, tal como recibir un correo, preponderando el valor de las cosas. Es una tecnología que abarca un abanico de posibilidades y en el sector inmobiliario constituye una herramienta que será perfectamente aplicable a las ciudades del Ecuador, considerando que incluso en algunos cantones aún se lleva registros utilizando bases de datos en Access.

2. En caso de suceder algún desastre sobrenatural, como el terremoto acontecido en Haití en 2010, donde hasta ahora no se ha podido identificar a los propietarios de bienes raíces porque sus registros de propiedades se llevaban en bases de datos locales que, lamentablemente, fueron destruidas, la tecnología blockchain puede crear un plan de contingencia frente a estas adversidades.

3. De tal manera que esta tecnología blockchain es la piedra angular

en cuanto a seguridad se refiere pronto esta aplicación será la nueva revolución en tecnología.

Bibliografía

- Aecom. (2017). Cadena de bloques: ¿la redefinición del futuro del sector inmobiliario? - Canada. Retrieved September 22, 2017. Recuperado de <http://www.aecom.com/ca/cornerstone-issue-03-es/blockchain-sp/>
- CryptoSolutions. (2017). Títulos de Propiedades Inmobiliarias Más Seguras con Blockchain. – Crypto Solutions. Retrieved September 22, 2017. Recuperado de <http://cryptosolutions.io/es/2017/04/19/titulos-de-propiedades-inmobiliarias-mas-seguras-con-blockchain/>
- Javier, I. J. (2016). Blockchain, ¿el nuevo notario? *Everis - Comillas*, 11.
- Pastor, J. (2015). Para qué se está usando Blockchain más allá de bitcoin. Retrieved September 22, 2017. Recuperado de <https://www.xataka.com/empresas-y-economia/para-que-se-esta-usando-blockchain-mas-alla-de-bitcoin>
- Registro de la propiedad. (2013). ¿Qué es el registro de la propiedad? – Trámites Ecuador. Retrieved September 22, 2017. Recuperado de <http://tramitesecuador.com/que-es-el-registro-de-la-propiedad/>

PROPUESTA DEL HIELO LÍQUIDO COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN EN LA PESCA ARTESANAL ECUATORIANA

Yusnier Enrique de la Rosa Rosales

Docente de la carrera Mecánica Naval, Facultad de Ingeniería de la ULEAM. Ecuador.

Correo: yusnier82@gmail.com

Wendy Carolina Salgado Chávez

Estudiante egresado de la carrera de Mecánica Naval. Facultad de Ingeniería de la ULEAM. Ecuador.

Correo: gemewendy@hotmail.com

Adilson Santiago Zambrano Zamora

Estudiante egresado de la carrera de Mecánica Naval. Facultad de Ingeniería de la ULEAM. Ecuador.

Correo: adilsonzz1994@hotmail.com

Resumen

La pesca artesanal ecuatoriana se encuentra en una posición totalmente desfavorable, puesto que su principal actividad radica en la pesca fresca con métodos de conservación convencionales. Tradicionalmente los sistemas de refrigeración se han basado en la adición de varias capas de hielo en escamas sobre el pescado. Las tecnologías de refrigeración han experimentado grandes avances, adicionando sales a la mezcla de hielo-agua. Sobre esta base física se han desarrollado diferentes sistemas que se denominan genéricamente “sistemas de hielo líquido”. Se planteó como objetivo fundamental evaluar los métodos tradicionales utilizados en la conservación de la pesca fresca; comparándolos con métodos novedosos como el uso del hielo líquido, encaminado a minimizar los

gastos y optimizar los recursos limitados en la pesca fresca artesanal.

Basados en la comparación de los efectos del hielo líquido y el hielo en escamas en la pesca fresca, se obtuvieron resultados favorables en todos los casos; lográndose temperaturas de -1.2°C en una quinta parte del tiempo, con el mínimo daño físico al producto y un aumento del 10% del área de intercambio de calor. Se concluye que el hielo líquido podría ser la solución para resolver los problemas relacionados con el deterioro de la pesca fresca artesanal en la flota pesquera ecuatoriana. Disminuyendo en un 20% las pérdidas por rechazo en la calidad de la pesca fresca. El desarrollo de este nuevo sistema de investigación pesquera contribuirá al mantenimiento y desarrollo sustentable de las pesquerías artesanales ecuatorianas a futuro.

Palabras claves: Pesca fresca, hielo líquido, eficiencia energética, desarrollo sustentable.

PROPOSAL OF LIQUID ICE AS A METHOD OF CONSERVATION IN ECUADORIAN ARTISANAL FISHING

Abstract

The Ecuadorian artisanal fishing is in a totally unfavorable position, since its main activity lies in fresh fishing with conventional conservation methods. Traditionally, refrigeration systems have been based on the addition of several layers of flake ice on the fish. The refrigeration technologies have experienced great advances, adding salts to the ice-water mixture. On this physical basis, different systems have been developed that are generically called “slurry ice systems”. The main objective was to evaluate the traditional methods used in the conservation of fresh fish; comparing them with novel methods such as the use of slurry ice, aimed at minimizing expenses and optimizing the limited resources in fresh artisanal fishing.

Based on the comparison of the effects of slurry ice and flake ice in fresh fishing, favorable results were obtained in all cases; achieving temperatures of -1.2°C in a fifth of the time, with the minimum physical damage to the product and an increase of 10% of the area of heat exchange, It is concluded that slurry ice could be the solution to solve the problems related to the deterioration of fresh artisanal fishing in the Ecuadorian fishing fleet. Decreasing by 20% the losses due to rejection in the quality of fresh fishing. The development of this new fisheries research system will contribute to the maintenance and sustainable development of the Ecuadorian artisanal fisheries in the future.

Key words: Fresh fishing, liquid ice, energy efficiency, sustainable development

Introducción

Se conoce que desde la captura de los productos del mar se evidencian varios procesos para su correcta conservación. El mantenerlos frescos y en ocasiones congelados llevan al producto a un estado de aceptación por el consumidor, pero a medida que ha transcurrido el tiempo y con el avance tecnológico estos métodos han quedado obsoletos respecto a los de la nueva generación.

Los problemas relacionados con los métodos de refrigeración utilizados son en gran parte a causa de las características de hielo. Por lo general en la pesca fresca utilizan el hielo troceado o en escamas^[1] y estos no logran penetrar a toda la superficie del pescado, dando lugar a la formación de bolsas de aire y el consecuente deterioro de los mismos permitiendo la acción de los microorganismos que no quedan totalmente neutralizados.

“Hay pocas experiencias en el país relacionadas con nuevos métodos de conservación para los productos del mar. La utilización de hielo

1 Técnica actual empleada en la producción de pesca fresca.

líquido ha dado resultados favorables en otros países. Cabe recalcar que esta práctica se está extendiendo a nivel mundial en todo ejercicio profesional que necesite refrigeración por su eficiencia y confiabilidad". (Kauffeld, WANG, y Goldstein, 2010)

Los pescadores de pesca artesanal que son el motor de la economía local en la ciudad de Manta, se verán beneficiada con la utilización de hielo líquido en sus embarcaciones donde podrán lograr estándares de calidad competentes a nivel mundial, destacando irreversiblemente la conservación del producto del mar a nivel nacional e internacional.

Por ello es necesario investigar la efectividad en la utilización del hielo líquido dirigido a la conservación de la pesca fresca mejorando los estándares de calidad y minimizando recursos energéticos, aportando de esta manera en el desarrollo sostenido de la economía nacional como eje transversal del Buen Vivir.

Desarrollo

Características del sistema del hielo líquido

La tecnología de hielo líquido nace en Rusia en los años 80 pero son los canadienses y alemanes los que dieron avances a este tipo de tecnología, comenzaron a fabricar generadores de hielo líquido con aplicaciones comerciales.

En la naturaleza se encuentra el hielo sólido en gran abundancia como por ejemplos los grandes glaciares, pero también encontramos el hielo líquido en la naturaleza como por ejemplo la nieve o las bolitas de granizos, los físicos meteorológicos lo conocen como "hielo esponjoso".

El hielo líquido consiste en una serie de partículas de hielo con un diámetro medio que es igual o menor a 1mm. Cabe mencionar que entre más pequeña sea la partícula de hielo en el agua más eficiente será la aplicación de la sustancia. (Stamatiou, 2005)

El hielo líquido es una suspensión de una solución de hielo cristalizada

a base de agua y la suspensión de hielo puede ser bombeada, por lo tanto, también se llama "Hielo líquido" o "Hielo fundente". Tiene un uso potencial como medio de enfriamiento secundario, directamente en el producto o alternativamente para el almacenamiento de energía térmica, mientras que sigue siendo bastante fluido para bombear.

Las características de manejo, así como las capacidades de enfriamiento se pueden regular para adaptarse a cualquier aplicación mediante el simple ajuste del porcentaje de concentración de hielo. Con un 20-25% de concentración de hielo, el hielo líquido fluye como el agua refrigerada convencional mientras que proporciona 5 veces la capacidad de enfriamiento. Con una concentración de hielo de 40-50%, se aprecia características espesas de hielo líquido y en proporción de 65-75%, el hielo líquido tiene la consistencia de helado suave. Cuando el hielo líquido se produce en forma seca^[2] adopta la forma de cristales de hielo antiadherentes que se pueden usar directamente cualquiera que sea el producto y el proceso. (Slurry Ice TM)

La máquina es un medio de enfriamiento único y se forma a partir de agua de mar de una mezcla de agua dulce y sal. Los cristales de hielo del microscopio forman una suspensión en agua de mar en cualquier concentración requerida.

Ventajas del hielo líquido como medio de conservación en la pesca fresca:

1. El hielo líquido cubre completamente el pescado, enfriando el pescado al instante y las mayores características de enfriamiento de hasta 3-4 veces mejor que el del hielo de bloque convencional.
2. Enfría la captura lo más rápido posible y mantiene el pescado de -1 a -2 °C siempre que sea posible.
3. Puede ser bombeado a una concentración de 20 a 50%, fácil de distribuir y manejar.

2 100% de hielo.

4. Este tipo de máquina también se puede utilizar como un refrigerador de agua de mar de alta eficiencia. (Made-in-China.com).



Figura 1. Máquina de hielo líquido. Fuente: Made-in-China.com

Aplicaciones en la industria pesquera

La clave para la conservación de los peces es la refrigeración inmediata tras la captura o cosecha a una temperatura ligeramente superior al punto de congelación y el mantenimiento de esta temperatura a lo largo de la cadena de frío. (Kauffeld, Wang, y Goldstein, 2010)

Hoy en día, hay más de 700 sistemas instalados en la industria pesquera, lo que hace que la industria pesquera sea uno de los mercados más grandes para la tecnología del hielo líquido. Islandia, Japón y Noruega son los tres primeros países en la lista. Se ha informado del éxito de casi todas las principales especies de peces como atún, rabil, salmón, bacalao, eglefino, merluza, arenque, caballa, sardina, camarón, mejillón y langosta. Wang y Goldstein (2003) y Piñeiro, Barros, y Auboug (2004).

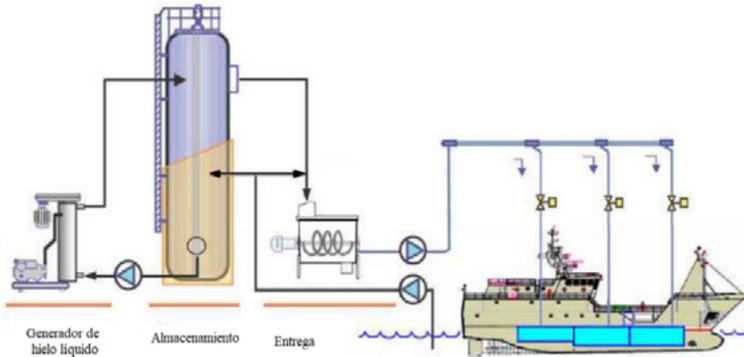


Figura 2. Un sistema de hielo líquido de baja salinidad usado a bordo de un cerquero japonés Fuente: (Kauffeld, WANG, Goldstein, & E, 2010)

El hielo líquido debido a su capacidad de intercambio de calor se ha ido involucrando como medio de refrigeración en las industrias.

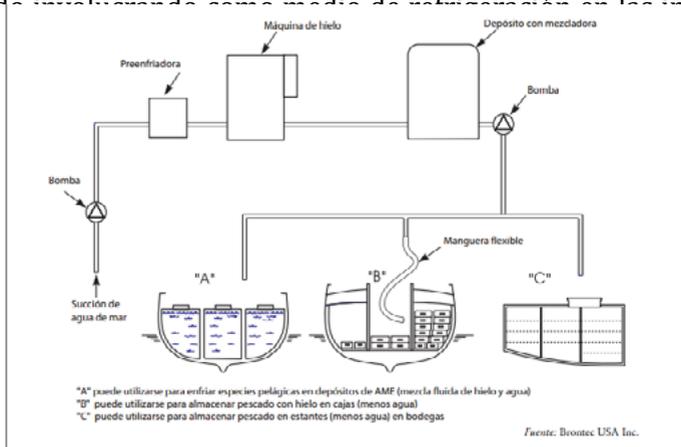


Figura 3. Esquema del uso de hielo líquido en los barcos de pesca.

Fuente: FAO, 1995.

Ventajas del hielo líquido:

- Aumento de la productividad.
- Más higiene.

3 Agua de mar enfriada.

- La efectividad del costo.
- Fácil de usar.
- Refrigeración eficiente.
- Buen saneamiento.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Flexibilidad en el diseño.
- Ahorro de energía durante la producción:

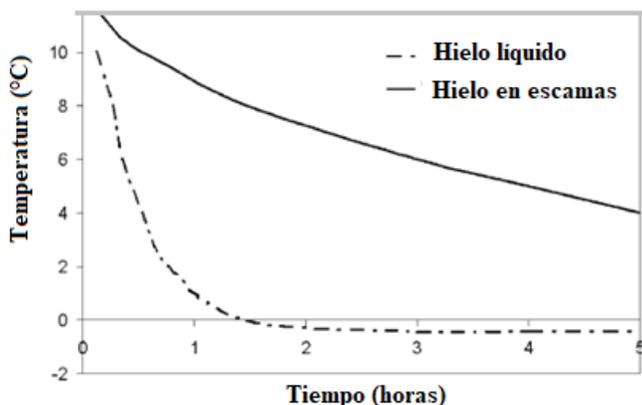


Fig.1 Enfriamiento hielo en escamas vs hielo líquido

*Figura 4. Enfriamiento del bacalao usando hielo en escamas vs hielo líquido.
Fuente: Davies, 2004.*

Materiales y Métodos

Para sustentar los conceptos y comparaciones en esta investigación se aplica la revisión de bibliografía mediante la utilización de citas, con el fin de tener un conocimiento existente de la problemática.

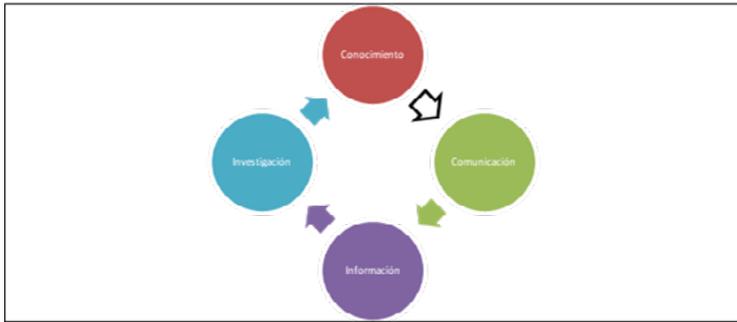


Figura 5. Espiral del conocimiento. Fuente: Moya, 2008.

Se realizó encuestas que muestran la situación actual que tienen las personas dedicadas a la pesca artesanal. En ella se utilizó preguntas dicotómicas donde solo hay dos alternativas de respuestas (Malhotra, 2008). Además, se realizó entrevista a los armadores y pescadores, con el fin de saber las perspectivas hacia el futuro y la predisposición para invertir en el sistema de conservación de pesca fresca a través de hielo líquido.

Para realizar una evaluación financiera de la inversión se presentarán el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el retorno de la inversión (ROI), con los valores resultantes se demostrará la viabilidad de la implementación del hielo líquido en las embarcaciones de pesca fresca.

Valor actual neto (VAN)

Según Wilson (2005) define VAN “como la suma de todos los flujos actualizados de efectivo futuros de una inversión o un proyecto menos todas las salidas”. Aplicando este indicador se conocerá el dinero que se recibirá en el futuro a una tasa de interés y un periodo de tiempo determinado con la finalidad de comparar estos valores con la inversión inicial.

Se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Cálculo del valor actual neto. Fuente: (Wilson, 2005)

$$-I_0 \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

De donde:

= Inversión inicial (t=0).

= flujos de dinero en cada periodo t.

= número de periodos.

= tipo de descuento o interés exigido a la inversión.

En la tabla siguiente se muestra los criterios de evaluación en función del VAN, así se podrá tomar una decisión adecuada para saber si ejecutar el proyecto o no.

Tabla 1. Criterio de evaluación del VAN. Fuente: Wilson, 2005

Resultado	Significado		Decisión
VAN = 0	$VAN_{\text{ingresos}} = VAN_{\text{egresos}}$	No existe ganancia ni pérdida	Indiferente.
VAN 0	$VAN_{\text{ingresos}} < VAN_{\text{egresos}}$	En este caso los ingresos son menores a los egresos (costo + inversión), quedando una porción pendiente de pago.	Rechazar el proyecto.
VAN 0	$VAN_{\text{ingresos}} > VAN_{\text{egresos}}$	Este resultado determina que los flujos de efectivo cubrirán los costos totales y la inversión, y quedará un excedente.	Ejecutar el proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR)

Según Bonta (2002) “La tasa interna de retorno (TIR) es aquella tasa de interés que hace igual a cero el valor actual de un flujo de beneficios netos al final de la vida útil del proyecto o en cualquier otra fecha en que se lo evalué”.

Para el cálculo de la tasa interna de retorno se debe sustituir en la ecuación del valor actual neto diferentes tasas de interés hasta encontrar un cambio de signo.

En la tabla siguiente se muestra los criterios de evaluación en función del TIR, así se podrá tomar una decisión adecuada para saber si ejecutar el proyecto o no.

Tabla 2. Interpretación del TIR.

Resultado	Significado	Decisión
TIR = tasa de actualización.	Cuando la TIR y la tasa de actualización son iguales, la rentabilidad es igual a cero.	Indiferente.
TIR < tasa de actualización.	En este escenario la rentabilidad del proyecto es inferior al costo de oportunidad de la inversión.	Rechazar el proyecto.
TIR > tasa de actualización.	Este resultado significa que el proyecto presenta una rentabilidad mayor al costo de oportunidad.	Ejecutar el proyecto.

Fuente: Wilson, 2005

Resultados de entrevistas y encuestas a los pescadores y armadores

En la tabla se muestran los porcentajes y los números de encuestados tomando como población los pescadores artesanales de la ciudad de Manta y San Mateo.

Tabla 3. Resultados de las encuestas a los pescadores. Fuentes: Autores

N°	Preguntas	Numérico		Porcentual	
		1	2	1	2
1	Opina usted que las embarcaciones artesanales deberían tener un sistema de frío para la conservación de sus capturas.	229	21	91.60	8.40
2	Diría usted, que es necesario reemplazar el sistema de conservación que tienen ciertas embarcaciones en la actualidad.	208	42	83.20	16.80
3	Le gustaría trabajar con equipos de tecnología moderna en las embarcaciones que usted labora.	188	62	75.20	24.80
4	Conoce usted el método de conservación de pesca fresca por sistema de hielo líquido.		250	0	100
5	Conoce usted las ventajas de la implementación del hielo líquido en embarcaciones de pesca fresca.		250	0	100

A continuación, se presentan la graficas de cada pregunta, conclusiones y al final recomendaciones o sugerencias.

1. Opina usted que las embarcaciones artesanales deberían tener un sistema de frío para la conservación de sus capturas.

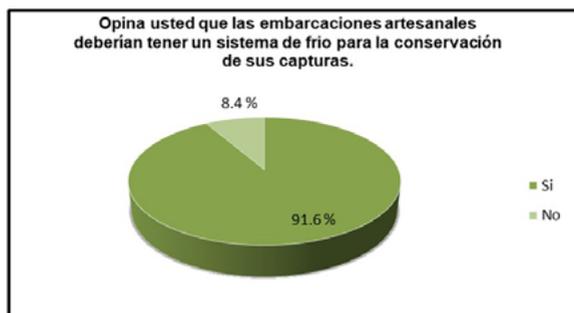


Figura 6. Estadística de la pregunta 1. Fuente: Autores.

Al momento de realizar esta primera pregunta un 91,6% de los encuestados opina que si se debería tener un sistema de frío para la conservación de sus capturas, ya que así ellos no tendrían que llevar marquetas de hielo o sacos de hielo troceado en las embarcaciones como lo hacen en la actualidad, mientras un 8,4% de la muestra encuestada considera que no es necesario debido que las prácticas que utilizan en la actualidad les han funcionado, este porcentaje representa más a personas mayores que le temen al cambio y que están acostumbrados a los métodos que siempre han utilizado.

2. Diría usted, que es necesario reemplazar el sistema de conservación que tienen ciertas embarcaciones en la actualidad.

Diría usted, que es necesario reemplazar el sistema de conservación que tienen ciertas embarcaciones en la actualidad.

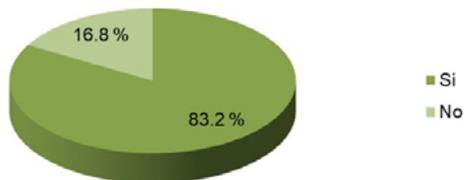


Figura 7. Estadística de la pregunta 2. Fuente: Autores.

En la segunda pregunta el 83,2% de los pescadores dicen que están de acuerdo que si es necesario reemplazar el sistema de conservación que tienen ciertas embarcaciones, en la actualidad llevan marquetas de hielo lo cual ocupa espacio y por el peso de las marquetas el barco no aprovecha la máxima energía para desplazarse al punto de captura, un 16,8% no consideran que sea necesario reemplazar dicho sistema.

3. Le gustaría trabajar con equipos de tecnología moderna en las embarcaciones que usted labora.

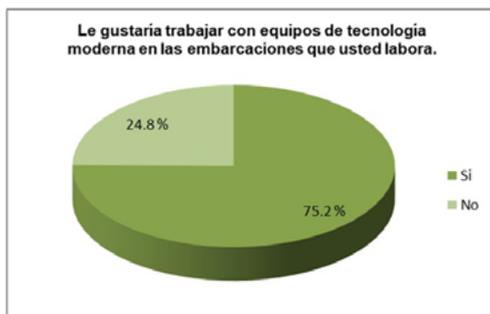


Figura 8. Estadística de la pregunta 3. Fuente: Autores.

En la tercera pregunta un 75,2% de la muestra encuestada si le gustaría trabajar con equipos de tecnología moderna en la conservación de sus capturas, mientras un 24,8% opina que no es necesario debido a que el método que utilizan les ha funcionada hasta ahora y reemplazarlo no lo consideran necesario.

4. Conoce usted el método de conservación de pesca fresca por sistema de hielo líquido.

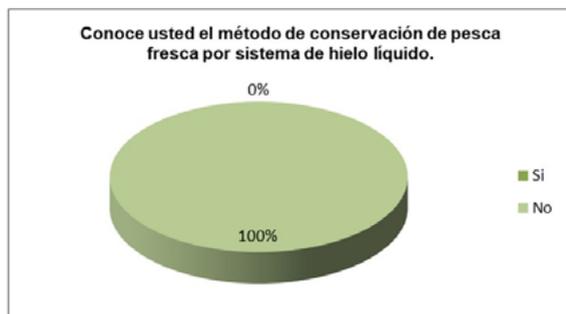


Figura 9. Estadística de la pregunta 4. Fuente: Autores.

El 100% de los encuestados desconocen el método de conservación de pesca fresca por el sistema de hielo líquido, debido a que no han tenido capacitaciones acerca del mismo.

Es por esta situación que se considera que el Ecuador no ha avanzado en los métodos modernos de conservación de la pesca fresca artesanal.

5. Conoce usted las ventajas de la implementación del hielo líquido en embarcaciones de pesca fresca.

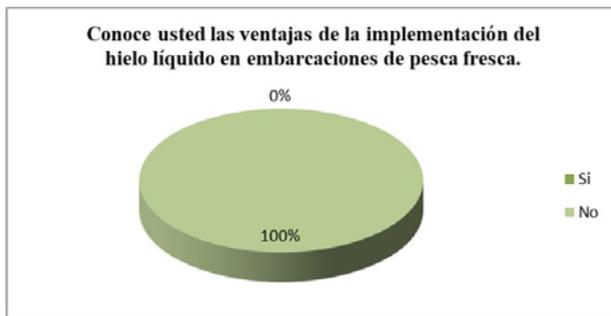


Figura 10. Estadística de la pregunta 5. Fuente: Autores.

El 100% de los encuestados no conocen las ventajas de la implementación de hielo líquido en las embarcaciones de pesca fresca debido a que nunca han escuchado acerca de este método antes.

Estimación de la cantidad de hielo en suspensión de acuerdo a la especie capturada

La siguiente fórmula muestra la cantidad de hielo requerida en la suspensión de hielo líquido:

Ecuación 2. Cantidad de hielo requerida. Fuente: Propiedad de North Star

$$\frac{W T C}{L} \quad (2)$$

Dónde:

W = Peso del pescado.

T = temperatura del agua.

C = calor específico del pescado.

L = calor latente del hielo.

Evaluación financiera

Se usa indicadores de evaluación de proyecto que son, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), retorno de la inversión (ROI). La embarcación utilizada en el ejercicio anterior será utilizada para tener una idea de cuánto se gastará y cuanto se espera ganar en función del tiempo.

La tabla 4 a continuación se identifica los ingresos y egresos estimados durante los primero 5 años de una implementación de máquina de hielo líquido en una embarcación de 150 toneladas.

Tabla 4. Tabla de ingresos y egresos. Fuente: Autores

Ahorro de hielo	48000	48000	48000	48000	48000
Piezas de capturas	45500	84000	77000	105000	91000
Ahorro total mano de obra	2760	2760	2760	2760	2760
Total de ingresos	96260	134760	125000	153000	139000
Inversión	80000	1200	2000	1200	2000

Gasto de operación	85000	2000	3000	3500	3500
Total de egresos	165000	3200	5000	4700	5500
Diferencia ingresos & egresos	-68740	131560	120000	148300	133500
	65 piezas	120 piezas	110 piezas	150 piezas	130 piezas

Como el valor es positivo podemos afirmar que el proyecto para la embarcación establecida es totalmente viable y se puede ejecutar.

La figura 11 a continuación muestra los resultados del VAN y el TIR con la ayuda de Excel donde se puede observar un TIR del 30,50% donde se puede decir que el proyecto presenta una rentabilidad mayor al costo de oportunidad.

Cálculo del VAN y TIR:		Propuesta de implementación de máquina de hielo líquido					
	Tasa de descuento en porcentaje	Inversión inicial en negativo	Flujo del 1º año	Flujo del 2º año	Flujo del 3º año	Flujo del 4º año	Flujo del 5º año
		Desembolso					
PROYECTOS	Tasa de descuento	Inicial	Flujo de caja 1	Flujo de caja 2	Flujo de caja 3	Flujo de caja 4	Flujo de caja 5
North Star	8,00%	\$ -165.000,00	-68740	131560	120000	148300	133500
			PROYECTOS = North Star				
			Valor actualizado Neto VAN = 179266				
			Tasa Interna de Retorno TIR = 30,50%				

Figura 11. Cálculo del VAN y TIR. FUENTE: Autores

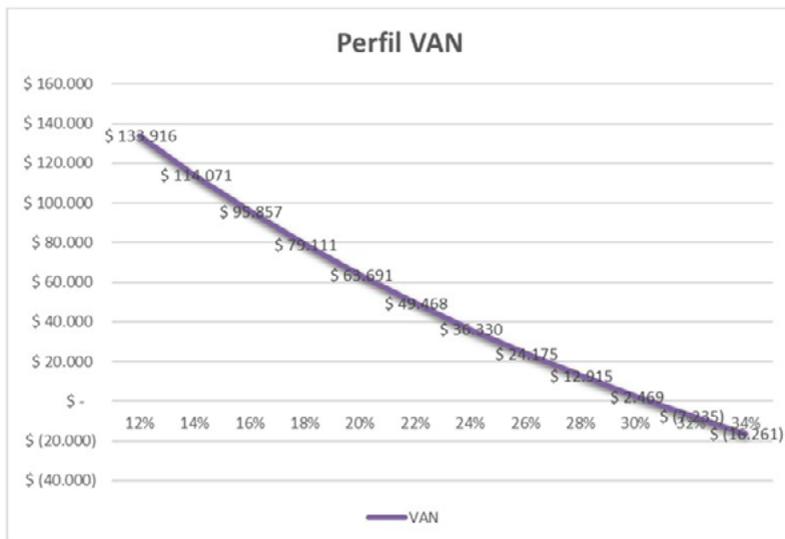


Figura 12. Tasa interna de retorno. Fuente: Autores

Propuestas de implementación

Evaluación de proveedores de máquinas de hielo líquido:

Tabla 5. Criterio de evaluación a las distintas empresas. Fuente: Autores.

Criterios	Proveedores			
	Northstar (A)	Refrisa (B)	Frionordica (C)	Sonwell (D)
Experiencia				
Atención al cliente	100	60	40	60
Beneficios	90	90	50	80
Distancia geográfica	40	90	60	30
Logística de entrega	90	90	40	60
Costo de implementación	50	80	50	40

TOTAL	370	410	240	270
Porcentaje de aceptación (%)	74	82	48	54

Tabla 6. Valores preliminares de la inversión. Fuente: Autores

X	Aspecto a evaluar	Refrisa empresa importadora.	NorthStar empresa fabricadora
1	Diseño y construcción bajo el código ASME.		
2	Materiales de construcción.	Aceros inoxidable	Aceros inoxidable
3	Refrigerante que utiliza el generador de hielo líquido.	Freón y amoníaco	Freón y amoníaco
4	Formas de pago.	Anticipo 30 % Entrega 20 % Instalación 20 % Aceptación y marcha 30 %	
5	Tiempo de implementación.	4 a 5 semanas	
6	Alianzas con empresas y soluciones.	SI	SI
7	Referencias de implementaciones y clientes.	Si	Si
8	Instalaciones de máquinas de hielo líquido en Ecuador.	Si	No
10	Capacitación al personal involucrado en operación del sistema.	Si	No
11	Software necesario.	No	No
	Inversión del proyecto	\$ 165000	\$85000

La alternativa B es la empresa local, la cual facilitara la importación e implementación de la máquina de hielo líquido, la alternativa A es la empresa fabricante de la máquina, ambas empresas trabajan en conjunto y tienen una gran experiencia en el mercado ecuatoriano instalando máquinas de frío en embarcaciones.

Con los resultados obtenidos con anterioridad se recomienda la adquisición de la maquina por medio de la empresa, (REFRISA) debido que cumple con la mayoría de los requerimientos y criterios de evaluación.

Conclusiones

1. En la revisión bibliográfica quedo demostrado que el uso del hielo líquido a nivel mundial ha dado resultados significativos, sobresaliendo como un método de conservación moderno, que cada día evoluciona en el campo de la refrigeración. A diferencia de otros tipos de conservación de pesca el hielo líquido tiene una elevada capacidad frigorífica. Como resultado realiza una transferencia de calor rápida, esta cualidad es ventajosa en la conservación de mariscos.

2. Con el análisis de la situación actual de las embarcaciones pesquera artesanal se pudo identificar que la forma de trabajar y conservar la pesca capturada es ineficiente, debido a que en las recepciones de las empresas la materia prima traída por los pescadores artesanales es rechazada en un 60% por ciento. Esto quiere decir que si traen 10 piezas de pescado 6 son rechazadas, ya que las propiedades sensoriales no pan los estándares de calidad requeridos por las empresas.

3. La evaluación económica financiera de la inversión, por medio del valor actual neto (VAN) es de \$179,266 lo cual es resultante la viabilidad del proyecto y permitirá la recuperación del capital invertido en un plazo de 3 años posterior a la implementación de la máquina de hielo liquido; La tasa de interés más alta que se puede pagar por la inversión sin perder el capital es de 30%, misma que sobrepasa el rango actual

de las tasas preferenciales a la que una empresa podría pagar.

4. Al implementar una máquina de hielo líquido en una embarcación pesquera artesanal se obtendrán una conservación eficiente logrando así que la pesca alcance estándares de calidad competentes a nivel nacional e internacional, a su vez las empresas procesadoras aceptarían en un 100% la materia prima proveniente de los pescadores artesanales.

5. Con el uso de nueva tecnología la forma de trabajo cambiaría y proporcionaría mayor confianza en la conservación de la pesca, además con la reestructuración física dentro de la embarcación se conseguiría un mayor volumen de capacidad hasta un 20% debido a que se genera la cantidad de hielo necesaria.

Bibliografía

Agricultura, O. d. (1 de 04 de 2015). *fao*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I4655S.pdf>: <http://www.fao.org/3/I4655S.pdf>

Agus Sunjarianto Pamitra, H. D. (30 de 08 de 2013). *A Review Paper Sea-water Ice Slurry Generator and its Application on Indonesian Traditional Fishing* . Recuperado de [citeseerx: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.874.1782&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.874.1782&rep=rep1&type=pdf)

Ammar Ali Ojimi, H. S. (s.f.). *researchgate*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ammar_Ojimi/publication/311773724_Experimental_Study_of_Direct_Contact_Evaporation_Refrigeration_System_Using_R-12/links/585a392708ae64cb3d4a9312/Experimental-Study-of-Direct-Contact-Evaporation-Refrigeration-System-Us: https://www.researchgate.net/profile/Ammar_Ojimi/publication/311773724_Experimental_Study_of_Direct_Contact_Evaporation_Refrigeration_System_Using_R-12/links/585a392708ae64cb3d4a9312/Experimental-Study-of-Direct-Contact-Evaporation-Refrigeration-System-Us

- B. Kılınç, S. C. (2007). *Food Chemistry*, 1611–1617.
- B. Kılınç, S. C. (2007). *Food Chemistry*, 1611–1617.
- Bлга. Patricia Galindo Banchon, B. N. (s.f.). *institutopesca*. Recuperado de institutopesca: <http://www.institutopesca.gob.ec/peces-pelagicos-pequenos/>
- Bryan D. Knodel, J. S. (24 de 06 de 1986). *Estados Unidos Patente nº 4,596,120*.
- Cabanilla, C. L. (s.f.). *institutopesca*. Recuperado de institutopesca: <http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/3-Desembarques-Artesanales-de-Atunes-en-la-Costa-Ecuatoriana-Per%C3%ADodo-2007-2013.pdf>
- Carmen Fuentelsaz Gallego, A. M. (2006). *Elaboración y presentación de un proyecto de investigación y una tesina*. Barcelona: Gráficas Rey S.
- Carpio, W. (20 de 06 de 2012). *IFOPESCA*. Recuperado de scribd: <https://es.scribd.com/document/97695311/INFOPECA-1>
- Davies, T. (16 de 07 de 2004). *elsevier*. Recuperado de www.elsevier.com/locate/ijrefrig: www.elsevier.com/locate/ijrefrig
- Delgado, E. E. (2011). *Espol*. Recuperado de Espol: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/18990/1/Tesis%20de%20Grado%20Edison%20Flores%20D..pdf>
- E. Stamatioua, J. M. (2005). Ice slurry generation involving moving parts. *International Journal of Refrigeration*, 60–72.
- eltelegrafo. (08 de 02 de 2014). Pesca chinchorrera genera \$ 240 millones al año. *eltelegrafo*.
- FAO. (1995). El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. En *El uso de hielo líquido en pequeñas embarcaciones de pesca* (p. 123). Recuperado de El uso de hielo líquido en pequeñas embarcaciones de pesca: <http://www.fao.org/3/a-y5013s.pdf>
- FAO. (2016). Resumen del Estado Mundial de la pesca y acuicultura. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la*

Agricultura, 24.

- FAO. (s.f.). *FAO*. Recuperado de El uso de hielo y de agua de mar enfriada en embarcaciones de pesca: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s06.htm#bm06>
- Frionordica. (s.f.). *Frionordica*. Recuperado de Frionordica: <http://www.frionordica.no/>
- Huss, H. H. (1998). *El pescado fresco: su calidad y cambios de calidad*. Roma: Organización de las Naciones Unidas.
- Jean Castaing-Lasvignottes, T. D.-P. (2006). Dynamic modelling and experimental study of an ice generator heat exchanger using supercooled water. *Energy Conversion and Management*, 3644–3651.
- Kauffeld, P. W. (2005). From physical properties of ice slurries to industrial ice slurry applications. *International Journal of Refrigeration*, 4–12.
- Koji Matsumoto, M. O. (2000). Ice storage system with water±oil mixture formation of suspension with high IPF. *International Journal of Refrigeration*, 336-344.
- Kozawa, M. T. (2001). ice-water two-phase flow behavior in ice heat storage systems. *International Journal of Refrigeration*, 639-651.
- M. Kauffeld, M. J. WANG, V. Goldstein, & K. E. (01 de 12 de 2010). *Ice Slurry Applications*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3081589/>
- M. Kauffeld, M. W. (2010). Ice slurry applications. *International Journal of Refrigeration*, Volume 33, Pages 1491-1505.
- Malhotra, N. (2008). *Investigacion de mercados*. México, México: Pearson prentice hall.
- Mario., C. (s.f.). *Ecuación de población finita*. Recuperado de investigacionpediahr: <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>
- Meewisse, J. y. (2005). Validation of the use of heat transfer models in

- liquid/solid fluidized beds for ice slurry generation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 3683-3695.
- Michael Kauffeld, M. K. (2004). *Handbook on Ice Slurries- Fundamentals and Engineering*. Paris: International institute of refrigeration.
- Moya, A. M. (2008). *información, La investigación en la era de la*. México: Trillas.
- Nasirin, B. H. (s.f.). The Advantage of Slurry Ice as Cooling Media for Fish in Tropical AreaE. *International Journal of Sciences:Basic and Applied Research (IJSBAR)*.
- Niedzwiecki., R. Y. (1999). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad: guía práctica para lograr resultados positivos*. Distrito Federal, México: Granica - TEC Consultores.
- northstarice. (s.f.). *northstarice*. Recuperado de northstarice: <https://www.northstarice.com/>
- Patricio Bonta, M. f. (202). *199 preguntas sobre marketing y publicidad*. Bogotá : Grupo editorial Norma.
- pesquero, r. a. (2016 de 02 de 19). *reglamento a la ley de pesca y desarrollo pesquero*. Recuperado de reglamento a la ley de pesca y desarrollo pesquero : <http://www.acuaculturaypesca.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/Reglamento-a-la-Ley-de-Pesca-2016.pdf>
- Pizzali, M. S. (2005). *El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y5013s.pdf>: <http://www.fao.org/3/a-y5013s.pdf>
- R. Lugo, L. F. (2006). Ice-liquid-vapour equilibria of ammonia and ethanol aqueous solutions applied to the production of ice-slurries Prediction and experimental results. *Chemical Engineering and Processing*, 66-72.
- Refrisa. (s.f.). *Refrisa*. Recuperado de Refrisa: <http://www.refrisa.com.ec/>
- Rosen, I. D. (2011). *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*.

- Ontario: Wiley.
- Rosen, L. d. (2011). *Thermal Energy Storage systems and applications*.
Ontario: John Wiley.
- Sih-Li Chen a, P.-P. W.-S. (1999). An experimental investigation of nucleation probability of supercooled water inside cylindrical capsules. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 299-306.
- Snowell. (s.f.). *Snowell*. Recuperado de Snowell: <http://www.snowell-icemachine.com/>
- T. Kiatsiriroat, P. S. (1998). Performance Analysis Of A Refrigeration Cycle Using A Direct Contact Evaporator. *international journal energy research*, 1179Ð1190.
- T.G. Myers, S. M. (2008). Approximate solution methods for one-dimensional solidification from an incoming fluid. *Applied Mathematics and Computation*.
- Tatsunori Asaoka, A. S. (2009). Vacuum freezing type ice slurry production using ethanol solution 1st report: Measurement of vapor-liquid equilibrium data of ethanol solution at 20 8C and at the freezing temperature. *International journal refrigeration*, 387 - 393.
- Vanesa Losada, C. P.-V. (2004). Effect of slurry ice on chemical changes related to quality loss during European Hake (*Merluccius merluccius*) chilled storage. *Eur Food Res Technol* , 27-31.
- Walter f. Staruszkiewicz, j. d. (2004). Effects of On-Board and Dockside Handling on the Formation of Biogenic Amines in Mahimahi (*Coryphaena hippurus*), Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*), and Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*). *Journal of Food Protection*, 134-141.
- Wilson, M. H. (2005). *Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Anexos

Anexo A.- Encuestas realizadas a los pescadores artesanales

1. Información específica:

Por favor marque su respuesta en el casillero correspondiente.

N°	Preguntas	RESPUESTA	
		Si	No
1	Opina usted que las embarcaciones artesanales deberían tener un sistema de frío para la conservación de sus capturas.		
2	Diría usted, que es necesario reemplazar el sistema de conservación que tienen ciertas embarcaciones en la actualidad.		
3	Le gustaría trabajar con equipos de tecnología moderna en las embarcaciones que usted labora.		
4	Conoce usted el método de conservación de pesca fresca por sistema de hielo líquido.		
5	Conoce usted las ventajas de la implementación del hielo líquido en embarcaciones de pesca fresca.		

Anexo B.- Entrevistas para armadores

Objetivo: Conocer el criterio de las personas con respecto a la implementación de una máquina de hielo líquido en las embarcaciones como método de conservación en las embarcaciones de pesca fresca artesanal en el puerto de Manta.

1. ¿Cuál es la capacidad en toneladas de sus embarcaciones?
2. Mencione el método de conservación que utiliza en su embarcación.
3. Mencione las especies con más captura en los años 2016 y 2017.
4. ¿Cuál es el valor actual de las especies más capturadas por libras?
5. ¿Cuál es el costo por rubro de cada viaje en su embarcación?
6. Observaciones



Todos los derechos reservados
Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta
obra sin la autorización de su autor o editor

2019

Son más complejos los retos que debe asumir la Ingeniería en estos tiempos si se compara con las décadas anteriores. Contextualizar sus enfoques dentro de un mundo globalizado, sujeto a la innovación continua y al impacto de grandes avances tecnológicos sobre toda la sociedad no es tarea fácil de comprender y asumir.

Los países en vías de desarrollo enfrentan además un obstáculo adicional: la imposición de propuestas tecnológicas provenientes de países desarrollados como vía de “solución” a las crisis económicas que limitan el desarrollo autóctono de las naciones.

Las propuestas de los ingenieros deben asegurarse de garantizar al menos tres aspectos para asegurar el éxito sostenido en el tiempo: permitir el uso de las tecnologías en favor de mejorar la calidad de vida de toda la sociedad, aportar a la conservación y modernización de la infraestructura del país y propiciar, además, un desarrollo sostenible.

La Facultad de Ingeniería ha tenido una contribución importante en este resultado, logrado a partir de un trabajo sostenido en los últimos tres años por parte de sus autoridades y de un vínculo fortalecido entre profesores y estudiantes para asumir proyectos y tareas de investigación desde la dimensión curricular y enfocada hacia la problemática de su entorno.

En este libro se recogen, en 33 artículos organizados en 5 capítulos, los resultados más relevantes de la Facultad de Ingeniería desde sus tres carreras, logrados hasta febrero de 2018.