

# Soluciones para reducir la carga térmica a través de la cubierta

José Véliz Párraga  
Elim Zambrano Martillo

Colección **Dossier Académico** Ingeniería, Industrias y construcción



*Ediciones*  
**Uleam**

**SOLUCIONES PARA REDUCIR LA CARGA TÉRMICA A TRAVÉS DE LA  
CUBIERTA.**

**VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

JOSÉ VÉLIZ PÁRRAGA  
ELIM ZAMBRANO MARTILLO



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



**Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí**

Ciudadela universitaria vía circunvalación (Manta)

[www.uleam.edu.ec](http://www.uleam.edu.ec)

**Autoridades:**

Miguel Camino Solórzano, Rector

Iliana Fernández, Vicerrectora Académica

Doris Cevallos Zambrano, Vicerrectora Administrativa

**Soluciones para reducir la carga térmica a través de la cubierta**

© José Véliz Párraga

© Elim Zambrano Martillo

**Consejo Editorial:** Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

**Director Editorial:** Fidel Chiriboga Mendoza

**Diseño de cubierta:** José Márquez

**Corrección de estilo:** Carlos Morales Paredes

**ISBN:** 978-9942-827-08-1

Edición: Primera. 2019. Publicación digital.

Editorial Universitaria.

Ediciones Uleam.

2 623 026 ext. 255

[www.munayi.uleam.edu.ec/uleam-ediciones](http://www.munayi.uleam.edu.ec/uleam-ediciones)

Manta - Manabí – Ecuador.

## RESUMEN

Partiendo de la creciente importancia que adquiere la vivienda de interés social y particularmente la calidad de su ambiente interior, en el presente trabajo se investiga cómo reducir la carga térmica que se transmite a través de la cubierta al espacio interior en la Vivienda de Interés Social urbana en regiones de clima cálido – húmedo, tomando como caso de estudio la producción del Ministerio de Desarrollo y vivienda (MIDUVI) en la ciudad de Portoviejo, Capital de la Provincia de Manabí, en Ecuador. Se demuestra que es posible el logro de este objetivo a partir del empleo de soluciones constructivas elaboradas con materiales alternativos tradicionales, naturales o reciclables disponibles localmente.

El libro se estructura en tres capítulos que se corresponden con cada uno de los objetivos específicos, y con las tres etapas de la investigación. Se inicia con el marco teórico, en el cual se caracteriza el estado del arte de la temática a nivel internacional y se identifican las variables objeto de estudio que determinan el ambiente térmico interior de las viviendas, y particularmente, la transferencia térmica a través de las cubiertas en un clima cálido – húmedo, así como su influencia en los costos y beneficios a lo largo del ciclo de vida. En la segunda etapa predominan los métodos de la investigación empírica. Partiendo de la caracterización del clima, la morfología, la tipología y la evolución de la vivienda social en Portoviejo, se realiza un estudio exploratorio del ambiente interior en la vivienda de interés social construida por MIDUVI, particularizando en la tradicional cubierta de zinc, y se realiza un inventario de materiales locales disponibles, tanto los tradicionalmente empleados como los naturales o desechos susceptibles de ser reciclados, considerando sus propiedades físico térmicas a partir de los datos obtenidos en la literatura internacional consultada. A partir de estos recursos disponibles, se realizaron mediciones en módulos experimentales unitarios para evaluar el comportamiento térmico relativo de soluciones de cielorraso y morteros elaborados con los materiales alternativos y adicionados a la cubierta de zinc. Sobre la base de los mejores resultados obtenidos en cuanto a la reducción de la transferencia térmica, se elaboraron propuestas de soluciones constructivas a las cuales se les aplicó un análisis costo – beneficio.

En el trabajo experimental de campo pudo constatar el efecto de la isla de calor urbana en los sectores estudiados, con temperaturas superiores a la estación meteorológica de menos de 1°C en los barrios periféricos y hasta 4°C en las zonas más urbanizadas. Según los resultados de la investigación de campo en sectores donde predomina la vivienda social recientemente construida por MIDUVI, se comprobó que el ambiente térmico interior es desfavorable, y que los habitantes de las viviendas con techo de zinc permanecen expuestos a

condiciones calurosas durante más de 8 horas al día. No obstante, el peor comportamiento térmico corresponde a los techos de hormigón armado, que pueden generar temperaturas interiores casi 8°C superiores al exterior.

Los morteros aplicados sobre la cubierta de zinc permiten reducciones de la temperatura interior de hasta 2°C, y los cielorrasos de materiales alternativos locales ensayados permiten reducir la temperatura interior con respecto a la cubierta de zinc en hasta 3°C en el caso del zapán, y de manera general, las soluciones propuestas presentan un costo anual de aproximadamente \$5,00 y permiten una reducción de la exposición al estrés térmico de hasta 5,5 horas diarias.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	3
INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO I .....	16
AMBIENTE TÉRMICO EN LA VIVIENDA URBANA DE INTERÉS SOCIAL. TRANSFERENCIA TÉRMICA EN CUBIERTAS. EVALUACIÓN COSTO – BENEFICIO.....	16
1. AMBIENTE TÉRMICO EN LA VIVIENDA URBANA DE INTERÉS SOCIAL. TRANSFERENCIA TÉRMICA EN CUBIERTAS. EVALUACIÓN COSTO – BENEFICIO.....	6
1.1. La vivienda urbana de interés social. Evolución y tendencias actuales .....	6
1.2. La calidad de la vivienda de interés social (VIS). El ambiente térmico en clima cálido – húmedo.....	9
1.2.1. Calidad de la vivienda.....	9
1.2.2. Ambiente térmico interior. Sensación térmica percibida. Adaptabilidad .....	11
1.2.3. Influencia de las soluciones arquitectónicas y urbanas en el ambiente térmico interior .....	14
1.3. Transferencia térmica a través de la cubierta en la vivienda de interés social (VIS). .....	17
1.4. Consecuencias de la exposición a altas temperaturas interiores en la vivienda.....	19
1.4.1. Impacto en el desempeño. Afectaciones a la productividad .....	23
1.4.2. Impacto en el desarrollo intelectual. Escuelas.....	26
1.4.3. Impacto en la salud.....	26
1.4.4. El sueño.....	27
1.4.5. Mortalidad .....	28
1.5. Costo – beneficio y análisis del ciclo de vida .....	29
1.5.1. Enfoques metodológicos .....	29
1.5.2. Resultados.....	32
1.5.3. Costos.....	33
1.5.4. Beneficios .....	34
1.6. Variables objeto de estudio .....	35

1.7.	Conclusiones parciales .....	37
CAPÍTULO II.....		39
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS) EN PORTOVIEJO. DIAGNÓSTICO DEL AMBIENTE TÉRMICO Y POSIBLES MATERIALES LOCALES COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA.....		39
2.	Vivienda de interés social (vis) en Portoviejo. Diagnóstico del ambiente térmico y posibles materiales locales como solución alternativa.....	40
2.1.	Portoviejo. Clima y microclima. Estrategias de diseño.....	40
2.2.	Morfología urbana. Tipología habitacional y estratificación social .....	45
2.2.1.	Vivienda popular tradicional.....	46
2.2.2.	Vivienda de interés social .....	48
2.2.3.	Vivienda de interés social promovida por MIDUVI.....	53
2.3.	Ambiente térmico en la vivienda popular y de interés social en Portoviejo.....	58
2.3.1.	Desarrollo de la investigación exploratoria .....	60
2.3.2.	Resultados. Influencia de las variables de diseño .....	63
2.3.3.	Ambiente térmico interior en las viviendas con cubierta de zinc.....	70
2.4.	Inventario de recursos locales disponibles como solución alternativa para reducir la carga térmica a través de la cubierta.....	76
2.5.	Conclusiones parciales .....	79
CAPÍTULO III.....		81
PROPUESTAS PARA MEJORAR EL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN PORTOVIEJO. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....		81
3.	Propuestas para mejorar el ambiente térmico interior de la vivienda de interés social en Portoviejo. Análisis costo – beneficio. ....	82
3.1.	Comportamiento térmico de las soluciones alternativas de cubierta .....	82
3.1.1.	Propiedades físico térmicas de los materiales y elementos de construcción a ensayar.....	82
3.1.2.	Diseño del experimento.....	87
3.1.3.	Experimentación en modelos .....	90
3.1.4.	Resultados y discusión.....	92

3.1.5.	Correlación entre los resultados de las mediciones en las viviendas y en los módulos experimentales	107
3.2.	Soluciones técnico - constructivas para reducir la transferencia térmica en cubiertas .....	108
3.2.1.	Cielorraso .....	108
3.2.2.	Morteros encima de la cubierta de zinc .....	110
3.3.	Análisis costo – beneficio del ciclo de vida .....	110
3.3.1.	Costo global de las soluciones en el ciclo de vida.....	110
3.3.2.	Beneficios de las soluciones propuestas .....	111
3.4.	Conclusiones parciales .....	113
	CONCLUSIONES FINALES.....	114
	RECOMENDACIONES .....	116
	BIBLIOGRAFÍA .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura metodológica del trabajo.....	15
Figura 2: Variables objeto de estudio.....	36
Figura 3. Estimación de COSTOS.. ..	36
Figura 4. Estimación de BENEFICIOS.....	37
Figura 5. Ciudad de Portoviejo, Provincia Manabí, Ecuador.....	41
Figura 6. Climograma de Portoviejo.....	41
Figura 7. Combinaciones de valores máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa del aire medidos en la estación meteorológica de Portoviejo, ploteados en la carta bioclimática de Givoni.....	43
Figura 8. Distribución espacial de los quintiles o estratos sociales y de las tipologías identificadas en la ciudad de Portoviejo. Ubicación de los casos de estudio para la vivienda de interés. ....	45
Figura 9: Vivienda de tres espacios sobre pilotes.....	46
Figura 10: Vivienda popular tradicional en Portoviejo: levantada sobre pilotes, los tres cuerpos y el “enquinche” .....	47
Figura 11: Vivienda social en Portoviejo. Casos de Estudio (González Couret y Véliz Párraga, 2019).....	50
Figura 12: Proyecto inicial de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI .....	55
Figura 13: Proyecto de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI. Variante 2 tomada como objeto de estudio. (Foto y elaboración del autor, González Couret y Véliz Párraga, 2019).....	56
Figura 14: Urbanizaciones MIDUVI: Los Cerezos (2000) y Las Orquídeas (2008) (González Couret y Véliz Párraga, 2019) .....	57
Figura 15: Urbanización María Asunción de Picozáz (2008) (González Couret y Véliz Párraga, 2019).....	58
Figura 16: Nuevo prototipo de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI después del sismo de abril 2016 (IDEAL ALAMBREC. Novo Habit-Ingeniería y Desarrollo) (González Couret y Véliz Párraga, 2019).....	59
Figura 17: Sectores urbanos seleccionados para evaluar el ambiente térmico interior de la Vivienda de Interés Social que construye MIDUVI. ....	60

Figura 18: Equipo de medición ubicado en el interior y exterior de la vivienda.....	62
Figura 19: Temperaturas exteriores medidas en las urbanizaciones objeto de estudio en relación con los datos de la estación meteorológica local. ....	64
Figura 20: Valores de $\Delta t$ promedio para cada intervalo horario con comportamiento similar durante los tres días de medición, que expresan su variación como resultado del efecto de la isla de calor urbana .....	65
Figura 21: Comparación en la carta bioclimática de Givoni de la combinación de los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa del aire en la estación meteorológica y en los exteriores urbanos medidos (Véliz & González, 2019).....	66
Figura 22: Diferencia de temperatura ( $t_i - t_e$ ) en viviendas con diferente tipología y contexto, con diferente número de plantas, así como pareadas y adosadas.....	67
Figura 23: Temperatura del aire interior en viviendas aisladas de una planta con cubierta de zinc y paredes de ladrillo, en diferentes orientaciones.....	67
Figura 24: Temperatura del aire interior en viviendas aisladas de una planta orientadas al norte, con cubierta de zinc y diferentes materiales de pared.....	68
Figura 25: Temperatura del aire interior en viviendas adosadas de una planta orientadas al norte, con paredes de bloque y diferentes materiales de cubierta.....	68
Figura 26: Temperatura interior medida en las viviendas con cubierta de zinc en los barrios estudiados .....	73
Figura 27: Superposición sobre las temperaturas medidas en las viviendas de Las Orquídeas, de los intervalos de tiempo en que los habitantes de todas las viviendas estudiadas con cubierta de zinc, están sometidos a estrés térmico.....	74
Figura 28: Histogramas de la distribución de valores de temperaturas medidos en las viviendas con cubierta de zinc entre las 10.00 am y las 7.00 pm.....	75
Figura 29. Propiedades físico térmica de las superficies .....	83
Figura 30. Transferencia térmica de los elementos .....	84
Figura 31. Conductividad de los materiales empleados en cielorraso .....	85

Figura 32: Resumen de posibles soluciones a ensayar .....	89
Figura 33. Elevación y corte del módulo experimental, equipos de medición y cabina bajo el árbol para medición en exterior de referencia. ....	90
Figura 34: Vista superior y corte de la colocación de los elementos de cubierta ensayados en el módulo experimental.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de distribución de ingresos de la población.....	45
Tabla 2: Viviendas construidas por MIDUVI por sectores en la ciudad de Portoviejo.....	59
Tabla 3: Caracterización de la muestra en función de las variables objeto de estudio.....	61
Tabla 4: Período de estrés térmico en las viviendas con cubierta de zinc cuya temperatura interior fue medida. .....	70
Tabla 5: Recursos locales tradicionalmente empleados en cubiertas.....	77
Tabla 6: Recursos locales tradicionalmente empleados como cielorraso en cubiertas. ....	78
Tabla 7: Recursos locales disponibles (naturales o reciclados) para soluciones alternativas que contribuyan a reducir la carga térmica a través de la cubierta.....	78
Tabla 8. Tabla resumen de propiedades térmicas de materiales y superficies.....	86
Tabla 9: Elementos de techo simples considerados en el primer paso de la investigación del módulo experimental.....	88
Tabla 10. Elementos del techo y doble techo, considerados en el segundo paso de la investigación del módulo experimental.....	88
Tabla 11.. Materiales alternativos agregados a las soluciones de techo durante el segundo paso del módulo experimental.....	89
Tabla 12: Resumen de costos estimados para elementos de cielorraso .....	110
Tabla 13: Resumen de costos estimados para los morteros colocados sobre la cubierta de zinc. ....	111

## INTRODUCCIÓN

La importancia creciente de la ciudad para el desarrollo sostenible queda expresada en el lema de la Conferencia Cumbre Hábitat III celebrada en la ciudad de Quito en octubre de 2016 “La ciudad que queremos”, donde se reconocieron seis áreas temáticas principales: la cohesión y equidad social en ciudades vivibles; el marco legal; el desarrollo espacial; la economía urbana; la ecología, así como la vivienda urbana y los servicios básicos<sup>1</sup>.

En el tema de la vivienda, la prioridad se ha desplazado de los aspectos cuantitativos a la preocupación por la calidad, especialmente en la vivienda de interés social, lo cual queda confirmado en campañas como la del buen vivir, de amplio reconocimiento en países de América Latina (Calla, 2007). Particular atención dentro de la calidad de la vivienda se está otorgando al ambiente térmico interior (Staines, 2013), no solo por su importancia para el bienestar y la salud de sus habitantes, sino también por el impacto ambiental que genera como consecuencia del incremento del consumo energético en ventilación y climatización artificial.

Sin embargo, aun la vivienda de interés social promovida por el Estado en los países en desarrollo se caracteriza de manera general por soluciones arquitectónicas de mínimo costo inicial que no garantizan adecuadas condiciones de habitabilidad y generan consumos energéticos que contribuyen a incrementar los costos durante el ciclo de vida. Particularmente en las regiones de clima cálido y húmedo, el ambiente térmico interior se ve afectado por la carga térmica que se transmite a través de la envolvente como consecuencia de inadecuadas soluciones de diseño y el empleo de elementos constructivos de alto coeficiente global de transferencia térmica.

La vivienda en el Ecuador es un derecho garantizado en la Constitución política del Estado del 2008, que en sus artículos 14 y 15 hace hincapié en el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, “sumak kawsay”<sup>2</sup>. Así mismo en el Art. 30 manifiesta que las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica. Por otra parte, de acuerdo con los datos del Censo

---

<sup>1</sup> Ver página web de ONU Hábitat. <http://www.habitat3.org> (consultado 20 de febrero de 2016)

<sup>2</sup>El concepto del "buen vivir" toma su terminología "sumak kawsay" de la cosmovisión ancestral quechua de la vida, En su significado quechua original, *sumak* hace referencia a la realización ideal y hermosa del planeta, mientras que *kawsay* significa "vida", una vida digna, en plenitud. El "sumak kawsay" ancestral considera a las personas como un elemento de la Pachamama o Madre Tierra (madre mundo).

poblacional del 2010, el 74 % de la población ecuatoriana habita en zonas urbanas (INEC, 2010), donde se concentra, por lo tanto, la mayor demanda de vivienda.

La vivienda social en el Ecuador actualmente es regulada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y es destinada a hogares que no pueden acceder a una vivienda por créditos hipotecarios o recursos propios, aunque el 44,1% de la población construye su vivienda de manera informal (Instituto Nacional de Estadística, 2010). Se trata de construcciones mínimas estandarizadas que no tienen en cuenta el número de miembros de la familia, con pobre calidad de diseño y escasa ventilación (indispensable para la salud y el bienestar).

Por razones económicas y por tratarse de una zona sísmica, tanto la vivienda de interés social como la vivienda popular autoconstruida usan tejas de acero galvanizado (zinc) en la cubierta, lo cual genera ambientes extremadamente cálidos durante el día en la latitud y el clima cálido húmedo de Portoviejo, que es la ciudad objeto de estudio en la presente investigación. Sin embargo, el aspecto térmico es sumamente importante en los emprendimientos de vivienda del Estado, ya que los costos y consumos energéticos generados durante la vida útil pueden resultar significativos, considerando el presupuesto familiar disponible de la mayoría de los usuarios (Martínez, 2005).

Por otro lado, los sectores a los que va dirigida la vivienda de interés social generalmente no cuentan con recursos para adquirir electrodomésticos como ventiladores o aires acondicionados que le permitan mejorar el ambiente térmico de sus viviendas en climas cálido - húmedos como el de la ciudad de Portoviejo, por lo cual las elevadas temperaturas interiores afectan no sólo el bienestar de las personas, sino su productividad, rendimiento y salud.

Sin embargo, existen recursos locales que, si se aprovecharan de forma adecuada a partir del conocimiento de su comportamiento físico térmico, permitirían reducir la carga térmica que se transmite a través de las cubiertas y mejorar el ambiente interior con mínimo costo y máximo beneficio en el del ciclo de vida.

Resulta conveniente, por tanto, mejorar el ambiente térmico en la vivienda de interés social que produce el MIDUVI con vistas a mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, a partir del aprovechamiento de los recursos disponibles localmente. Las soluciones propuestas para Portoviejo como caso de estudio podrían ser aplicables en otras regiones con condiciones similares.

De esta situación problemática se deriva el siguiente problema de investigación: ¿Cómo reducir la carga térmica que se transmite al espacio interior en la Vivienda de Interés Social urbana en regiones de clima cálido – húmedo, tomando como caso de estudio la producción del MIDUVI en la ciudad de Portoviejo- Provincia de Manabí?

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es proponer soluciones alternativas a partir del empleo de recursos locales que permitan reducir la carga térmica que se transmite a través de la cubierta a los espacios interiores en la vivienda de interés social, tomando como caso de estudio la ciudad de Portoviejo.

El presente trabajo se ha estructurado en tres etapas.

**Primera etapa: Marco Teórico.** En esta etapa predominan los métodos de la investigación teórica como el análisis documental, el histórico – lógico, y la discusión teórica, con vistas a caracterizar el estado del arte de la temática a nivel internacional e identificar las variables objeto de estudio que determinan el ambiente térmico interior de las viviendas, y particularmente, la transferencia térmica a través de las cubiertas en un clima cálido – húmedo, así como su influencia en los costos y beneficios a lo largo del ciclo de vida.

**Segunda etapa: Diagnóstico.** En esta etapa predominan los métodos de la investigación empírica como la observación, medición, registro, y entrevistas, con vistas a caracterizar la vivienda de interés social que produce MIDUVI en Portoviejo y evaluar su ambiente térmico interior, así como los recursos locales disponibles con vistas a su posible empleo para reducir la carga térmica a través de la cubierta de la vivienda de interés social. Se emplea el análisis – síntesis cuantitativa y cualitativa para el procesamiento de la información. Particular importancia asumen los métodos de análisis gráfico, y el procesamiento estadístico de las mediciones de la temperatura interior en las viviendas con cubierta de zinc, para identificar el período de tiempo en que es más probable que los habitantes de estas viviendas se encuentren sometidos a condiciones de calor extremo.

**Tercera etapa: Propuesta.** En esta etapa se desarrolla una experimentación en modelos unitarios con vistas a evaluar la influencia relativa de diferentes soluciones de cubierta en la temperatura interior, incluyendo soluciones alternativas propuestas a partir del aprovechamiento de recursos materiales disponibles localmente. Se elabora un procesamiento estadístico de los resultados del ensayo en módulos experimentales, con vistas a encontrar su correlación con las mediciones del ambiente térmico interior en viviendas con techo de zinc, realizadas en la etapa anterior. Predominan en esta etapa métodos como el análisis síntesis cuantitativo y comparativo, la inducción – deducción, el hipotético – deductivo, métodos de diseño, análisis costo- beneficio y análisis del ciclo de vida, para elaborar propuestas de soluciones técnicas que contribuyan a mejorar el

ambiente térmico interior en la vivienda de interés social a partir de la reducción del flujo térmico a través de la cubierta, y evaluar su impacto sobre la base de un análisis costo – beneficio en el ciclo de vida.



Figura 1: Estructura metodológica del trabajo

Los resultados de la investigación contribuyen a: mejorar la calidad de la vivienda de interés social; aprovechar recursos locales disponibles, reusar y reciclar residuos; ahorrar energía en ventilación y climatización artificial; elevar la calidad de vida de la población.

Cabe resaltar que por primera vez se hace una evaluación del comportamiento térmico de recursos locales disponibles en Portoviejo como soluciones constructivas alternativas para la vivienda de interés social. Especial importancia reviste el estudio exploratorio del ambiente térmico en la vivienda, los ensayos de materiales en módulos experimentales, y el análisis costo – beneficio en el ciclo de vida de la vivienda de interés social.

## **CAPÍTULO I.**

### **AMBIENTE TÉRMICO EN LA VIVIENDA URBANA DE INTERÉS SOCIAL. TRANSFERENCIA TÉRMICA EN CUBIERTAS. EVALUACIÓN COSTO – BENEFICIO**

## **1. AMBIENTE TÉRMICO EN LA VIVIENDA URBANA DE INTERÉS SOCIAL. TRANSFERENCIA TÉRMICA EN CUBIERTAS. EVALUACIÓN COSTO – BENEFICIO.**

En el presente capítulo se fundamentan las bases teóricas de la investigación a partir del estado del arte de la temática y los resultados de investigaciones precedentes. Se caracteriza la evolución y tendencias de la vivienda de interés social a nivel internacional, la creciente importancia de su calidad y la importancia que para ello reviste el ambiente térmico interior, así como las formas de evaluarlo.

Se particulariza en el importante rol que desempeña la cubierta en el clima cálido y húmedo y la latitud de Portoviejo, y las tendencias con respecto al empleo de materiales alternativos para reducir su impacto en la temperatura interior, quedando así definido el objeto de estudio del presente trabajo.

Finalmente se exploran las consecuencias de la exposición de las personas a ambientes térmicos calurosos en las viviendas y se definen los criterios a seguir para la evaluación costo – beneficio de las soluciones alternativas propuestas.

### **1.1. La vivienda urbana de interés social. Evolución y tendencias actuales**

El modelo urbano moderno que tuvo como antecedente el Movimiento Higienista, nació a inicios del siglo XX conjuntamente con el concepto de la vivienda social masiva, sobre la base del modelo productivista de desarrollo, cuyo paradigma fue la máquina y la industria. Sin embargo, el reconocido fracaso de ambos modelos (el del urbanismo moderno y el de la vivienda social masiva) junto al del “estado de bienestar” se debió en gran medida a la falta de accesibilidad económica en los países en desarrollo, lo cual condujo a la ciudad informal, y posteriormente al término de “vivienda de interés social”, acompañado de un cambio en el rol de los gobiernos, según las tendencias neoliberales (González y Véliz, 2016).

Así, el fenómeno de la ciudad informal autoconstruida surgido a mediados del siglo XX en los países en desarrollo como respuesta a la demanda acumulada a consecuencia de la ineficiencia del modelo urbano moderno y el concepto primermundista de la vivienda social, evolucionó de un mal urbano hacia una solución válida, reconocida como “proceso de producción social del hábitat” (Ortiz, 2002).

La posición con respecto al proceso de urbanización producido a nivel mundial, pero fundamentalmente en los países en desarrollo durante la segunda mitad del siglo XX ha evolucionado, desde la necesidad de evitar la migración de la ciudad al campo en la primera conferencia cumbre del Hábitat (Vancouver 1976), hacia el reconocimiento del carácter inevitable e irreversible del proceso de urbanización en Hábitat II (Estambul 1996),

hasta el concepto de que la ciudad está en todas partes y se extiende al medio rural y natural (Quito 2016) (González y Véliz, 2016).

El derecho a la ciudad hace referencia al hábitat en sus dimensiones social, económica, espacial, ambiental e institucional, trascendiendo el concepto tradicional del derecho a la vivienda, al incorporar el entorno físico, económico, social, cultural y político que le da sentido a la vivienda desde perspectivas espaciales y temporales. El derecho a la ciudad es un derecho colectivo de todos los habitantes, que articula los derechos humanos con las condiciones espaciales concretas de cada ciudad; que busca el disfrute equitativo de las ciudades dentro de los principios de sustentabilidad, democracia, equidad y justicia social, lo que implica otorgar atención prioritaria a personas con discapacidad, con muy bajo ingreso y en general a todas aquellas que son vulnerables (Iracheta, 2012).

El nuevo paradigma de la sostenibilidad surgió a finales de la década de los años 80's como solución sin alternativa para la supervivencia del planeta ante la crisis ecológica de finales del pasado siglo XX, por lo cual su origen fue ambiental. Sin embargo, este concepto rápidamente evolucionó hacia la consideración de tres dimensiones principales: la ambiental, la económica y la social, que han sido identificadas como la "tríada básica" del desarrollo sostenible: ambientalmente sano, económicamente viable y socialmente justo.

En el año 2000 se aprobaron los "Objetivos del milenio", cuyo cumplimiento desigual e irregular fue recientemente evaluado en el 2015. Estos 11 objetivos, cada uno de los cuales contemplaba sus respectivas metas, estaban dirigidos a erradicar la pobreza y el hambre; lograr la enseñanza primaria universal; promover la igualdad de género; reducir la mortalidad infantil; mejorar la salud materna; combatir las enfermedades; garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, y fomentar la asociación mundial para el desarrollo (Habitat, 2005). Como parte de la sostenibilidad del medio ambiente se contemplaba la meta de mejorar sustancialmente la vida de los habitantes de los asentamientos informales precarios. Su incumplimiento a escala global condujo a que fueran retomados y ampliados en los nuevos "objetivos de desarrollo sostenible" hacia el año 2030, aprobados en octubre de 2015.

La conferencia internacional Río más 20 (ONU, 2012), amplió aún más el concepto de ciudades y asentamientos sostenibles a partir de un planeamiento integral con enfoque holístico que garantice el acceso a la vivienda y los servicios sin desplazar a la población, contribuya a erradicar la pobreza urbana y rural, a conservar al patrimonio y a revitalizar los centros urbanos. Otro principio básico para el logro de la sostenibilidad urbana reconocido en Río más 20 es la oferta de vivienda y servicios básicos inclusivos que propicien seguridad y salud para todos, espacios verdes seguros, agua y saneamiento, aplicando el principio de las "3R" (reducir, reusar y reciclar), a la vez que se reduzca la vulnerabilidad y se potencie la resiliencia y la adaptación al cambio climático.

La Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible Río más 20 que formuló “el futuro que queremos”, reconoció además la importancia de la participación y la necesidad de fortalecer el rol de los gobiernos locales en la revitalización de los centros urbanos, la promoción de la eficiencia energética de los edificios, la garantía de un transporte sostenible y de un uso mixto del suelo, así como la conveniencia de fomentar la cooperación entre ciudades.

El concepto de ciudades resilientes pone el énfasis en la necesaria mitigación, adaptación y reversión del cambio climático, y es opuesto al de vulnerabilidad. Resiliencia implica flexibilidad, redundancia, capacidad de aprender y de reorganizarse (Habitat, 2012). Más recientemente, el concepto de ciudades vivibles refleja claramente que el bienestar físico y síquico de los seres humanos es el fin último de la sostenibilidad urbana.

Los debates más actuales se refieren a la necesaria evolución de las instituciones gubernamentales; la nueva relación entre la ciudad y el territorio; el tránsito de la satisfacción de las necesidades básicas a la co-creación y co-gestión de los servicios públicos; la competencia y cooperación entre ciudades; la reinención continua de la ciudad, y los modelos territoriales policéntricos<sup>3</sup>.

A partir del reconocimiento de la economía de escala y el rol económico de las ciudades como generadoras de riquezas, se emplea el concepto de prosperidad urbana que ha evolucionado según (Acioli, 2015), de cinco a seis dimensiones, donde la gobernanza urbana se adiciona a las previamente reconocidas: sostenibilidad ambiental, equidad e inclusión social, calidad de vida, desarrollo de infraestructura y productividad. Estas se toman como base para medir el índice de prosperidad urbana de cada ciudad.

La Conferencia Cumbre del Hábitat (Hábitat III) celebrada en Quito en octubre de 2016, con el lema “la ciudad que queremos”, aprobó la nueva agenda urbana para los próximos 20 años, cuyos pilares reconocidos son el ordenamiento jurídico, financiero y físico (Claus, 2015) en aras de la integración, inclusión y sostenibilidad para la equidad y prosperidad, y en lo cual resulta esencial el espacio público, el uso mixto del suelo y la planeación urbana.

Casi todos los objetivos (17) de desarrollo sostenible aprobados en octubre de 2015 tienen una relación directa con el desarrollo urbano, a pesar de que uno de ellos (objetivo # 11) está directamente dirigido al logro de ciudades y asentamientos humanos “inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Para ello se han reconocido siete metas e indicadores vinculados a la vivienda y los asentamientos precarios; el transporte público y la

---

<sup>3</sup> Ver los resultados de los talleres en Cities for Life. Global Meeting, Medellín, 2015. [www. CITIESFOR.LIFE](http://www.CITIESFOR.LIFE).

accesibilidad; la planificación y el uso del suelo; la preservación del patrimonio histórico; la prevención de desastres; el medio ambiente y los residuos sólidos, y el espacio público.

Además del uso mixto del suelo, éste debe ser aprovechado al máximo como recurso prácticamente no renovable. La baja densidad de ocupación del suelo genera crecimientos urbanos extensivos con los correspondientes incrementos de la demanda de infraestructura y las distancias de transportación, lo cual a su vez influye en el aumento del consumo de energía y la contaminación ambiental. Sin embargo, predomina una tendencia en la población de menores ingresos a preferir la vivienda unifamiliar aislada, directamente vinculada al terreno, con respecto a los edificios multifamiliares o de apartamentos de varios pisos, donde su privacidad se ve afectada, y los costos de mantenimiento se incrementan.

## **1.2. La calidad de la vivienda de interés social (VIS). El ambiente térmico en clima cálido – húmedo.**

El reconocimiento del derecho a la vivienda ha estado asociado con campañas encaminadas a promover el buen vivir y una adecuada calidad de vida. Los enfoques cuantitativos han estado dejando paso a los cualitativos, en los cuales, la calidad de la vivienda, incluida la vivienda de interés social, representa un objetivo esencial. La negación del derecho al hábitat, a la vivienda y a la ciudad son dramáticas en las fisonomías de las ciudades y de las sociedades, ya que el mercado niega derechos y crea segregación, la más visible de las cuales es la que se produce entre pobres y ricos, dando como resultado una sociedad fragmentada, donde no hay lugares de encuentro entre los distintos sectores (Olsson, 2012).

Según Gilbert (2001) la vivienda es un elemento esencial para la manutención de la estima personal y familiar, y su calidad es un factor crítico para determinar el estado de salud de la población. Por otro lado, su localización ayuda a determinar el acceso a buenas escuelas, trabajos y facilidades de naturaleza social, de manera que es un indicador crítico de clase social, ya que, hasta cierto punto, el lugar de residencia revela lo que uno es. Sin embargo, considera que el concepto de calidad en la vivienda es relativo y que debe ser definido para según los ingresos década familia y su posición en el ciclo de vida (Gilbert, 2001). El propio autor afirma que a pesar de los graves problemas que la región confronta, y del consenso de que las condiciones de vivienda siguen deteriorándose, hay algunas señales positivas, ya que aun cuando la proporción de viviendas de auto-construcción dentro del inventario habitacional en las zonas urbanas ha aumentado en general, la calidad de la mayoría de estas viviendas informales también ha ido mejorando, obteniendo acceso al agua corriente, electricidad, alcantarillado y otros servicios (Gilbert, 2001).

### **1.2.1. Calidad de la vivienda**

La calidad de la vivienda es su aptitud para ser habitada con la satisfacción de sus ocupantes (González C. D., 1997), pero no sólo se refiere al recinto interior, sino al entorno inmediato, el barrio y la ciudad toda. Según

Sugranyes y Morales (2012), la concentración homogénea de viviendas de muy bajo costo y de mala calidad genera inercias negativas, ya que este nuevo tipo de gueto presenta graves deficiencias, no sólo respecto a la calidad de las viviendas construidas, su acceso a servicios, empleos y esparcimiento, sino que también constituye el caldo de cultivo para la desintegración social a través de fenómenos como la violencia urbana e intrafamiliar, y el tráfico y consumo de drogas. Los autores afirman que en estos sectores de la ciudad se produce una negativa “inercia social”, una verdadera bomba de tiempo que lamentablemente parece que estallará en forma de una cada vez mayor violencia y problemas urbanos.

Por el contrario, Pessina (2012) se refiere a muchas favelas recualificadas en las regiones metropolitanas de todo el Brasil, a partir de una concepción trabajada hace algunas décadas y recogida por el Estatuto de la Ciudad, y que toma en cuenta los criterios urbanístico, jurídico, social y ambiental. Este autor reconoce que el impacto de la intervención es muy importante, tanto en la propia favela como en la región en que ella está implantada debido al saneamiento y circulación viaria que integran ese nuevo barrio a la ciudad. Se trata, por tanto, de un programa de vivienda que dialoga con el desarrollo urbano y no ignora la ciudad existente.

Pérez (2013) aborda la evaluación de la calidad de la vivienda de interés social en Bogotá, a partir de las necesidades y aspiraciones de sus habitantes, y las clasifica en tres escalas, desde el contexto urbano hasta la vivienda (escala arquitectónica), incluyendo la relación de la vivienda con su entorno y con la ciudad. A escala arquitectónica, que es el objeto de estudio del presente trabajo, considera los aspectos funcionales y espaciales (forma o volumen, espacio y confort), técnicos constructivos (adaptabilidad, fases del proceso constructivo, así como materiales y tecnologías), y económicos (tipo de vivienda según su valor, fecha de adquisición, costo de compra, fuente de financiamiento, acondicionamiento y revalorización).

Para Águila (2009) también la noción de hábitat, al igual que la de asentamientos humanos, integra los conceptos de casa, vivienda, ciudad, región y territorio, y la vivienda como satisfactor de múltiples necesidades, trasciende la interioridad de la casa como refugio o morada familiar, integrándose a su entorno comunitario y representando un lugar de identidad, tanto individual como colectiva, lo cual implica un proceso cultural donde los pobladores organizados deben jugar un rol protagónico. En su investigación, dirigida a proponer modelos para la gestión local del hábitat, la autora clasifica las variables objeto de estudio en las de gestión propiamente y aquellas que permiten evaluar la calidad del hábitat. Estas últimas, que indican el impacto en el medio físico, se subdividen en dos escalas, la urbana y la arquitectónica, que incluye el confort y la salud, directamente vinculados con el ambiente térmico.

Cada vez son más numerosas y diversas las investigaciones encaminadas al establecimiento de requisitos, parámetros e indicadores para evaluar la calidad de la vivienda (Pérez, 2013), y todas ellas reconocen la importancia del ambiente térmico, por su impacto en la salud de los habitantes, en el consumo de energía, y por tanto, en el cambio climático y en la resiliencia urbana.

El ambiente y la temperatura interior afecta el confort térmico y la salud humana, cuestión que resulta de suma importancia actualmente, por las temperaturas extremas que se pronostican como consecuencia del cambio climático (Naicker et al., 2017).

### **1.2.2. Ambiente térmico interior. Sensación térmica percibida. Adaptabilidad**

La adecuación de la arquitectura y el urbanismo al clima local es determinante, tanto para el bienestar y la salud de las personas como en la reducción del consumo energético. En ello juega un importante rol el diseño bioclimático pasivo que debe tomar como referencia las tradiciones de la arquitectura vernácula de cada lugar, con vistas a reinterpretarlas en la contemporaneidad de acuerdo con las necesidades actuales y las nuevas condicionantes contextuales y tecnológicas.

Las personas necesitan interactuar de forma satisfactoria con su medio ambiente local, para lo cual, el cuerpo humano responde a las variables ambientales mediante una interacción dinámica para mantener un estado óptimo. En el caso del ambiente térmico, esto determina si la persona siente calor o frío o si se encuentra en un estado de bienestar o confort térmico (Parson, 2003). Este autor coincide en que son la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad y el movimiento del aire, las cuatro variables ambientales básicas que afectan la respuesta humana a los ambientes térmicos. Estas combinadas con el calor metabólico generado por la actividad humana y el vestuario, proporcionan los seis factores fundamentales que definen los ambientes térmicos a cuya interacción los humanos responden. Así, la habilidad de perder calor mediante el sudor es crucial para una persona en un ambiente caluroso.

Son más de 80 los índices desarrollados a nivel internacional durante el último siglo para evaluar en términos de bienestar la sensación térmica percibida por las personas (Carlucci y Pagliano, 2012). Así, Fang y otros (2019) han empleado tres de estos índices para evaluar la relación entre el intenso entrenamiento realizado en exteriores por estudiantes universitarios y las enfermedades derivadas del calor, usando índices térmicos que incluyen el Bulbo Húmedo Temperatura de Globo (Wet Bulb Globe Temperature - WBGT), la Temperatura Fisiológica Equivalente (Physiologic Equivalent Temperature - PET) y la Temperatura de Clima Universal (Universal Temperature Climate Index UTCI). Algunos estudiantes sufrieron síncope térmico y más del 30% padecieron de sudoración profusa, concluyendo que el entrenamiento de los estudiantes en exteriores extremadamente calientes por largos períodos debe realizarse a la sombra, y los tres índices de confort fueron

modificados. Los máximos niveles aceptables de WBGT, PET, y UTCI eran 27,54 °C, 25,06 °C, y 32,29 °C, respectivamente, sin embargo, cuando WBGT excedió 32,65 °C, PET sobrepasó 53,90 °C, y UTCI 44,90 °C, por lo que el ambiente térmico se ubica en un estado de calor inadmisibles que puede ser muy dañino.

Otros cuatro índices biometeorológicos fueron calculados para evaluar la sensación y el confort térmico en el verano de 2007 en Atenas, con temperaturas extremadamente elevadas, que indujeron condiciones no confortables en el ambiente urbano: Voto de Sensación Real (Actual Sensation Vote – ASV), Sensación Térmica (Thermal Sensation – TS, método de Givoni), Índice de Discomfort (Discomfort Index – DI), e Índice de Carga Térmica (Heat Load Index – HL) (Pantavau, Theoharatos, Mavrakis y Santamouris, 2011). Se registró el número de pacientes afectados por calor en las clínicas cardiovasculares de cuatro hospitales públicos y se revelaron altos índices de DI y HL, lo que demuestra severas condiciones de estrés térmico durante los últimos 10 días de julio, mientras que el ASV tiende a clasificar muchos casos dentro de la zona de confort, en comparación con los índices TS, DI y HL.

El Índice de Discomfort (DI) también ha sido empleado para evaluar la influencia de la distribución espacial de los edificios en el confort exterior, proponiendo un nuevo rango de valores para este indicador (Din y otros, 2014). Los autores reconocen la importancia que gana el confort térmico en los países tropicales y el rol que la adaptación térmica juega en el ambiente exterior. Según los resultados, las personas han aceptado las condiciones ambientales existentes a pesar de que las sienten ligeramente cálidas o calientes, de manera que pueden adaptarse a un rango más amplio de condiciones térmicas. Se incorpora la teoría resultante del confort adaptativo y se demuestra que el DI depende en gran medida de la temperatura ambiente y de la humedad relativa, pero mucho menos de la intensidad de la radiación solar.

El índice de Physiological Equivalent Temperature (PET) ha sido también empleado para evaluar la mortalidad en el norte de Irán (Sharafkhani et al, 2018), encontrando que existe una significativa relación entre los valores más altos (30°C, 27°C) y más bajos (-0,8°C, -9,2°C y -14,2°C) del índice y la mortalidad, no accidental. El uso del mismo indicador para evaluar el impacto del ambiente térmico en la salud humana en Nigeria, arrojó que temperaturas del aire de 30°C e inferiores solo ocurrieron aproximadamente el 33% del período de estudio, mientras que la Humedad Relativa de 60% e inferior solo se registró el 11% del tiempo, lo cual hace viable la existencia de bacterias y otros agentes patógenos en el área (Omonijo, 2017). Se identificaron 6 clases de niveles de estrés fisiológico que van desde ligeramente frío hasta estrés de calor extremo. Valores de PET entre 19°C y 31°C se registraron el 26% del período, mientras estuvieron entre 31°C y más de 42°C el resto del tiempo.

Por supuesto, los valores de referencia para evaluar la tolerancia al calor no se pueden generalizar o extrapolar mecánicamente de unas condiciones a otras, porque las personas están sometidas a procesos de aclimatación o termorregulación. Según Hanna & Tait (2015), es poco probable que el incremento de la temperatura pueda mantenerse por debajo de 2°C, por lo cual las adaptaciones tecnológicas y de comportamiento tendrán que ser los medios dominantes para la adaptación humana individual y social en la medida que el calentamiento global progrese. Según estos autores, las personas que viven en países que ya rutinariamente experimentan temperaturas superiores a 40°C o a 30°C con elevadas humedades, están ahora enfrentando temperaturas que exceden su capacidad de aclimatación. Los autores se preguntan si podrán los humanos aclimatarse a un mundo 2, 3 o 4 grados más caliente, y cuál es la máxima térmica dentro de la cual los humanos modernos pueden sobrevivir.

Refieren que aunque en muchos estudios se han investigado las temperaturas límite, éstas son específicas de cada lugar, ya que la población residente se adapta en mayor o menor medida a su clima local, según una curva de distribución, y demuestran las limitaciones de la termorregulación humana y la capacidad de aclimatación: Los humanos son endotérmicos, lo cual significa que la temperatura óptima interna que opera (aproximadamente 36,8 °C +/- 0,5) es mínimamente influida por la temperatura ambiente. Por otra parte, la termorregulación fisiológica puede precisar ajustes en el balance de calor, pero es efectiva sólo en un rango relativamente estrecho de temperaturas ambientales.

Según estos autores, los comportamientos adaptativos expanden la tolerancia térmica humana y permiten vivir en climas más extremos. Una vez que la persona se aclimata, la tolerancia al calor y el desempeño físico en el calor se incrementan significativamente, y el tiempo para alcanzar el estado de exhausto físicamente se puede duplicar. La producción de sudor en un atleta bien hidratado con 2 m<sup>2</sup> de superficie corporal puede alcanzar 3 l/hora. Debido al estrecho margen de seguridad, los investigadores recomiendan detener la actividad física antes que los sujetos alcancen la temperatura crítica de 39,0 - 40°C. La descompensación termorreguladora para los atletas ocurre cuando la temperatura alcanza 40 – 42°C y muy pocos casos documentados han sobrevivido a los 45°C y más. Para la población en general, la muerte ocurre cuando la temperatura se acerca a 41°C, pero daños permanentes en la función de los órganos comienzan a ocurrir a temperaturas menores.

El intercambio de calor se hace más lento progresivamente cuando la temperatura del aire excede los 20°C y disminuye significativamente cuanto esta excede los 35°C. Para personas expuestas a un clima más caliente, la aclimatación requiere una exposición activa de dos a seis semanas de ejercicio diario por aproximadamente 2h o más en ese nuevo clima.

Precisamente, por el proceso de aclimatación, usualmente se establecen rangos o zonas de confort que varían para cada lugar, época del año, e incluso, momentos del día. De hecho, Givoni (1998) ha propuesto una zona de confort para países cálidos en desarrollo, donde se supone que las personas están acostumbradas a soportar condiciones superiores de temperatura. El confort adaptativo (Godoy, 2012) constituye una tendencia reciente para optimizar las soluciones arquitectónicas y energéticas.

Para una evaluación objetiva de la sensación térmica en condiciones de estrés de calor empleando cualquiera de los indicadores más comúnmente usados a nivel internacional, se necesitan mediciones de la temperatura media radiante mediante el empleo de termómetros de globo, que resultan muy costosos.

### **1.2.3. Influencia de las soluciones arquitectónicas y urbanas en el ambiente térmico interior**

La solución arquitectónica, que es el objeto de estudio del presente trabajo, influye en el ambiente térmico interior mediante el diseño (la forma), y los materiales y elementos de construcción y terminación. Para su estudio se ha asumido la clasificación ofrecida en investigaciones precedentes: contexto, volumetría, espacio y envolvente (González D. y otros, 2015).

La influencia del contexto se produce mediante las sombras arrojadas, la forma en que refleja, absorbe y emite la radiación solar recibida y el modo en que condiciona el comportamiento del viento alrededor de la edificación. Esto depende de la separación entre los edificios y su altura, lo cual determina el ángulo de visión del cielo, y condiciona la ocupación y utilización del suelo. Además, resultan determinantes la vegetación existente, los materiales y el albedo (Sánchez O., 2015).

En cuanto a la influencia de la volumetría arquitectónica, a través de un análisis paramétrico, Suraya y Embi (2016) evalúan la forma óptima de los edificios en relación con la reducción con la carga de enfriamiento, concluyendo que la compacidad y la relación superficie expuesta – volumen, así como la orientación juegan un rol determinante, coincidiendo con González y Véliz (2016).

Así, la envolvente, integrada por paredes y techos, también se estudia de forma independiente. Sadineni, Madala y Boem (2011) reconocen que una porción significativa de la energía primaria total es consumida hoy por los edificios en los países en desarrollo, en muchos de los cuales, el consumo de energía puede ser reducido de forma significativa si se adoptan estrategias energéticamente eficientes, para lo cual estudia diferentes tipos de paredes, ventanas y cubiertas. Entre las cubiertas que son el objeto de estudio del presente trabajo por su importancia en el Ecuador, considera los techos verdes, fotovoltaicos, evaporativos y con barreras radiantes. Este autor confirma que la masa térmica resulta un método de ahorro de energía efectivo en lugares donde la

diferencia de la temperatura exterior diurna y nocturna es elevada, y que los enfoques de eficiencia energética pueden no requerir un capital de inversión, sino un enfoque holístico.

De las características del clima en cada lugar se derivan las estrategias de diseño recomendadas para que la solución arquitectónica y urbana contribuya por medios pasivos a mejorar el ambiente térmico interior y con ello, al bienestar térmico de las personas y a reducir el consumo de energía en climatización artificial.

La metodología de Mahoney (Chidambareswaran, 2005) fue elaborada a inicios de los 70's, conjuntamente con otros destacados investigadores como Koenigsberger y Martin Evans, con vistas a caracterizar el comportamiento de las principales variables climáticas que influyen en la sensación térmica y en el confort de las personas, para orientar las estrategias de diseño más recomendables en cada caso.

La principal limitación de este instrumento consiste en que cuando fue elaborado aún era incipiente el cuestionamiento del modelo urbano moderno, la revalorización de la ciudad tradicional y los estudios de microclima urbano, razón por la cual aún se pensaba en la conveniencia de edificios largos y estrechos en una urbanización abierta.

No obstante, a pesar de eso, esta herramienta sigue siendo muy útil para evaluar de forma cualitativa las posibles estrategias de diseño más recomendables ante determinadas condiciones climáticas, sobre todo, cuando éstas no resultan de fácil clasificación. Tal es el caso del clima de Portoviejo, con altas temperaturas y humedades relativas a lo largo del año, pero una variación diaria (propia de la latitud), mayor que la tradicionalmente considerada para los climas cálidos y húmedos.

Las principales estrategias de diseño reconocidas para mejorar el ambiente térmico interior en regiones de clima cálido – húmedo consisten en reducir por todos los medios la carga o ganancia térmica hacia el espacio interior y en segundo término, maximizar la ventilación natural por todas las vías posibles. Lo primero se logra incrementando las sombras arrojadas, preferiblemente provenientes de la vegetación, para aprovechar el “efecto de la sombra viva”. Cuando no es posible sombrear la envolvente arquitectónica, resulta entonces conveniente reducir la absorción de calor en las superficies exteriores y el flujo térmico hacia el espacio interior. Es recomendable evitar que se almacene calor en la masa de la edificación, ya que las temperaturas del aire son elevadas tanto por el día como por la noche, por lo que resulta conveniente el empleo de elementos de baja inercia térmica.

Por la perpendicularidad de los rayos solares en la franja ecuatorial, la cubierta asume un rol decisivo en la reducción de la carga térmica que se transmite hacia el espacio interior. Sin embargo, el material de

construcción más comúnmente empleado en el techo de la vivienda popular es la plancha acanalada de acero galvanizado, con un elevado coeficiente global de transferencia térmica, que ha sustituido a la tradicional cubierta vegetal de la vivienda vernácula.

Se aprecia una tendencia al aumento del número de investigaciones dirigidas al mejoramiento de la calidad de la vivienda de interés social y popular, y particularmente, de su ambiente térmico interior. La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez publicó en 2013 (Staines, 2013) los resultados de una investigación desarrollada en seis ciudades de cuatro países (México, Colombia, Chile y España) sobre la habitabilidad y la eficiencia energética en conjuntos habitacionales de interés social.

Numerosos estudios precedentes pueden servir de referencia para la vivienda de interés social en el clima cálido y húmedo de la ciudad Portoviejo en Ecuador. Tal es el caso de las investigaciones realizadas por Romero (2010) encaminadas a evaluar el confort térmico y el ahorro de energía en la vivienda económica en México, para regiones cálidas, tanto húmedas como secas. García, Bojorquez y Ruiz (2011) demostraron que los habitantes de la vivienda popular autoproducida se adaptan mejor al ambiente térmico interior que los que habitan una vivienda económica en Mérida, México, mientras que Mecott (2008) comprobó que es posible mejorar el comportamiento térmico de paneles de ferrocemento para la vivienda en Oxaca, y Odeku, Overen y Meyer (2014) propusieron cómo mejorar la eficiencia térmica de viviendas de bajo costo usando pinturas translúcidas de agua en Sudáfrica.

Un estudio encaminado a evaluar el desempeño energético de las tipologías de edificios de vivienda social en Brasil (Triana, Lamberts and Sassi, 2015) demostró la necesidad de mejorar su desempeño térmico y energético, como la característica más común encontrada en los proyectos actualmente en ejecución, con una tendencia hacia el bajo desempeño según la Etiqueta de Energía Brasileña para los proyectos dirigidos a la población de menores ingresos (Nivel 1).

Otra investigación dirigida a evaluar la resiliencia y la eficiencia energética de las viviendas del programa “Mi casa, Mi vida” en Brasil (Mesquita & Kos, 2017), arrojó que, a escala de planeamiento, el programa pudo haber sido más flexible para satisfacer los requerimientos de los residentes, adicionando estrategias para alcanzar un microclima adecuado para el confort y la eficiencia energética, no siempre demandado por los usuarios. Sin embargo, las unidades habitacionales tienen un área 50% mayor que las que ofrecen los proyectos de la mayoría de los programas, de manera que, si se adaptan y redireccionan las estrategias, podrían obtenerse soluciones que contribuyan al logro de ciudades más resilientes que favorezcan la eficiencia energética.

Una investigación sobre la temperatura interior en viviendas de bajo costo en Johannesburgo, Sudáfrica, demostró que tanto la vivienda de interés social construida por el estado como la de los asentamientos informales presentan las mayores variaciones de temperatura, con valores entre 4 y 5 °C más elevadas que la temperatura exterior, de manera que esta población es la de mayor riesgo ante el impacto de las temperaturas extremas y debe ser priorizada para enfrentar las temperaturas extremas, con vistas a mejorar su confort y prevenir los efectos negativos en la salud (Naicker et al., 2017).

### **1.3. Transferencia térmica a través de la cubierta en la vivienda de interés social (VIS).**

En climas cálidos y húmedos como el de Portoviejo, resulta muy difícil garantizar todo el tiempo el bienestar térmico por medios pasivos, por tanto, un principio esencial recomendado por varios autores (González D., 2011) es tratar de mejorar el ambiente térmico tanto como sea posible, con independencia de que no se pueda alcanzar condiciones de confort. Para ello es imprescindible reducir el flujo de calor a través de los elementos de cierre que componen la envolvente, fundamentalmente la cubierta en el Ecuador, con vistas a reducir la temperatura del aire y la temperatura media radiante. Una vez que se logra esto, conviene optimizar la solución de ventilación. No obstante, la simple reducción de la carga térmica contribuye a mejorar la sensación térmica y con ello, el bienestar, y por tanto, reduce la demanda y el consumo de energía convencional en ventilación y climatización artificial para contrarrestar el exceso de calor.

También se han desarrollado investigaciones encaminadas a evaluar la transferencia térmica a través de la envolvente y particularmente mediante la cubierta en viviendas de interés social. Moreno, Morais and Souza (2017) realizaron un estudio comparativo sobre el desempeño térmico de la vivienda social construida con paredes de hormigón y ladrillos, y cubiertas de hormigón, metal y fibrocemento en Brasil, según las regulaciones vigentes. Los resultados indicaron que las soluciones con paredes de color claro y cubiertas de aluminio presentaban el mejor desempeño térmico, mientras que las paredes de hormigón y los colores oscuros tendían a generar un desempeño térmico inferior, concluyendo que un correcto uso de los materiales junto a buenas estrategias de implementación que prioricen los factores específicos del lugar, son esenciales para el confort y la eficiencia energética en las viviendas.

Referencia directa constituye el trabajo de Díaz (2012), que evaluó el comportamiento del techo de acero galvanizado de la vivienda vernácula en el clima cálido húmedo de República Dominicana, reconociendo la necesidad de desarrollar estrategias que contribuyan a mejorar su desempeño térmico, entre las cuales, la doble cubierta ventilada apunta como preferible.

Ha quedado ampliamente demostrado en investigaciones precedentes que la presencia de cámaras de aire contribuye a la reducción de la transferencia térmica hacia el espacio interior, fundamentalmente, si éstas están

ventiladas. En un estudio experimental, Lee et al. (2009), demostraron que la disminución del flujo de calor aumenta con el ángulo de inclinación de la cubierta y el espesor de la cámara de aire, así como con la temperatura de la superficie.

Entre las investigaciones recientemente realizadas sobre el tema, Kabre (2010) ha propuesto un nuevo índice para evaluar el desempeño térmico de las cubiertas de viviendas en climas tropicales húmedos (TPI), partiendo de que a pesar de que la transmitancia (U) o resistencia térmica (R) de un techo son las propiedades más ampliamente usadas, éstas se refieren a la conducción del calor en régimen estacionario, y no responden a las necesidades cambiantes del clima, el diseño y el confort.

Según esta autora, aunque no hay investigaciones fisiológicas de campo para determinar la falta de confort causada por el calor radiante proveniente de los techos en los trópicos cálidos y húmedos, sí existen numerosos estudios sistemáticos sobre la base de experimentos de laboratorio que han investigado las afectaciones al confort ocasionadas por cielorrasos radiantes en climas fríos. Esto permite afirmar que la sensación térmica dentro de los edificios no sólo depende de la temperatura del aire, sino también de la de las superficies circundantes, expresada en la temperatura media radiante.

Es por ello que el nuevo índice depende de la temperatura de la superficie interior de la cubierta o el cielorraso, con un valor equivalente a cero para la cubierta de zinc y 1 para aquella que satisfaga las necesidades de confort para un determinado clima. No obstante, temperatura de la superficie interior de la cubierta, que es la que alcanza mayores valores en la latitud del Ecuador, depende de la temperatura sol aire<sup>4</sup> exterior, en función de la absorptividad de la superficie (además de la intensidad de la radiación solar incidente), y del calor transmitido hacia el interior a través de la cubierta. Por tanto, mientras mayor sea la transferencia térmica a través de la cubierta, mayor será su aporte a la temperatura del aire interior y más alta será su temperatura de superficie.

Hernández y otros (2014) clasifican las técnicas de enfriamiento pasivo en cubiertas en dos grandes grupos: las soluciones arquitectónicas entre las cuales se encuentran las bóvedas y cúpulas, las cubiertas dobles y ventiladas, y los altos puntales, y por otro lado, las soluciones no arquitectónicas como las barreras contra la radiación (sombras, superficies reflectantes, barreras de transmisión y aislamiento térmico), y la presencia de agua en las cubiertas. De ellas, las bóvedas, cúpulas y con presencia de agua son propias de climas cálido

---

<sup>4</sup> Se denomina temperatura sol-aire a la temperatura de una superficie sometida tanto al contacto directo con la masa de aire exterior como a la radiación solar (Alemany, A., 1986)

secos, mientras que las dobles, ventiladas, sombreadas, reflectantes y aisladas sí son apropiadas para climas cálido – húmedos.

Numerosas investigaciones se dedican hoy al estudio de materiales tradicionales y de nueva generación que contribuyan a reducir el flujo térmico a través de la envolvente, y particularmente de las cubiertas en las regiones tropicales (Pargana et al. 2014). Aditya et al. (2017) los clasifica en inorgánicos, orgánicos, combinados y materiales de nuevas tecnologías. Estos estudios incluyen, entre los materiales tradicionales, la lana mineral, el poli estireno expandido (EPS) o extrusado (XPS), la celulosa, el corcho y el poliuretano, y entre los nuevos materiales, los paneles de vacío, con cámara de gas, aerogeles, y materiales aislantes por cambio de fase. También se investigan elementos de nanotecnología y otras soluciones futuras como los aislamientos dinámicos, y aplicaciones del hormigón (Jelle, 2011).

Pero más útiles e interesantes resultan para la sustentabilidad de las soluciones en países en desarrollo, las investigaciones dedicadas al estudio de materiales aislantes no convencionales. Asdrubali et al. (2015) los clasifican en naturales y reciclados. Entre los primeros se encuentran las cañas, el bagazo, la espadaña, la mazorca de maíz, el algodón, la palma, las hojas de piña, el arroz, el girasol y la paja, entre otras, mientras que los reciclados incluyen la espuma de vidrio, los plásticos y las fibras textiles entre otros.

Miron et al. (2017) realizaron un estudio de la paja húmeda como material orgánico de aislamiento. La paja constituye un residuo agrícola, que en ocasiones es quemado en Rumanía, con las consecuentes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Sin embargo, formando parte de un mortero puede ser un buen regulador de la temperatura y la humedad.

#### **1.4. Consecuencias de la exposición a altas temperaturas interiores en la vivienda.**

Cuando la sensación térmica percibida por las personas como resultado de la combinación de la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa, la velocidad del aire, la ropa que usan y la actividad que realizan, favorece la acumulación de calor en sus cuerpos, el Sistema de termorregulación responde intentando aumentar la pérdida de calor, pero cuando esto no se produce en la medida suficiente, puede generarse un estrés térmico que conduce a la enfermedad e incluso, a la muerte (Parson, 2003).

Según Parson (2003), durante el estrés térmico, la temperatura del cuerpo puede elevarse y los receptores sensibles a la temperatura en la piel, los músculos, el estómago y otras áreas del sistema nervioso central, envían señales al hipotálamo anterior. La proporción entre iones de sodio y calcio también se monitorea. Cuando la temperatura se eleva por encima de ciertos niveles, la circulación sanguínea es controlada en áreas específicas del cuerpo a través del sistema nervioso simpático que dilata los vasos cutáneos, incrementando el

flujo de sangre en la piel y desata el mecanismo de sudoración si es necesario. Esto aumenta el flujo de calor potencial del cuerpo, para mantener su temperatura. Como el corazón no puede suministrar la sangre a todo el cuerpo, el sistema nervioso autonómico y endocrino controla la llegada de la sangre a los órganos.

Según este autor, mediante el sudor se pierden aproximadamente 4 gramos de sal por litro en las personas que están aclimatadas, mientras que una dieta normal provee entre 8 y 14 gramos diarios. Si la temperatura continúa elevándose cuando la piel está totalmente mojada, puede ocurrir una reducción de la sudoración, debido al bloqueo de las glándulas sudoríparas en condiciones húmedas, lo cual puede generar un aumento de la temperatura corporal más allá de 38–39°C, y un colapso a los 41°C. En este momento suele producirse confusión mental, cambios en la forma de actuar, fallo en la termorregulación nerviosa central e incluso, muerte. La edad, el sexo, el peso corporal, las drogas, el alcohol y otros desórdenes son factores agravantes.

Pero estas consecuencias para el bienestar y la salud de las personas, se traducen en otras afectaciones socioeconómicas, que pudieran cuantificarse, como en un estudio de estrés térmico en condiciones invernales desarrollado en barrios pobres de Nueva Zelandia, donde se demostró que las viviendas mejor aisladas mantienen temperaturas interiores más altas, lo cual favorece la salud y el bienestar de sus ocupantes en ese clima frío (Holden y otros, 2007). Cuando la temperatura interior de los dormitorios en invierno se incrementa en apenas 0,5°C, se consume solo el 81% de la energía, los niños faltan menos a la escuela, disminuye el ausentismo laboral de los adultos y se reducen las admisiones en los hospitales por problemas respiratorios.

Algunos investigadores han realizado estudios que vinculan el estrés térmico con la calidad del aire interior en espacios deficientemente ventilados donde las personas viven, viajan, aprenden y trabajan (Kelly and Fussell, 2019). Los ambientes laborales no industriales fueron designados como área prioritaria de investigación en Estados Unidos, donde los edificios influyen en las infecciones respiratorias, asma, alergias y otros síntomas, de manera que al mejorarlos podrían obtenerse beneficios para más de 15 de los 89 millones de trabajadores, estimados entre \$5 y \$75 Billones anualmente (Mendell y otros, 2002).

Por otro lado, Wierbicka et al. (2018) hacen énfasis en la necesidad de un enfoque holístico para los ambientes interiores saludables y sustentables, en equipos multidisciplinarios que aborden los aspectos bio – psico – sociales de la salud; la interacción entre los ocupantes, los edificios y el ambiente interior; el cambio climático y su impacto en la calidad del aire interior, el confort térmico y la salud, así como las medidas de eficiencia energética. Para estos autores, el ambiente interior ha de considerarse como un sistema dinámico y complejo con múltiples interacciones.

La necesidad de prevenir las consecuencias negativas de las altas temperaturas, tanto en exteriores como en interiores, se incrementa como resultado del cambio climático que está ocasionando entre otros problemas, el calentamiento global, y las reconocidas olas de calor que tienen impactos significativos, tanto en los ecosistemas como en los seres humanos. Según Zuo et al. (2015), esto será más frecuente y severo en ciertos lugares en escenarios futuros, y tanto los ancianos como los niños son los más vulnerables.

En este sentido, Hatvani et al. (2016) han reconocido que, para aumentar la resiliencia de la población al aumento de la temperatura, los grupos vulnerables deben ser identificados, los servicios de salud pública deben prepararse para el aumento de la morbilidad, y el nivel de adaptación de la población al estrés térmico, así como la resistencia del ambiente construido, deben aumentar. Otros autores como Quinn et al. (2014) coinciden en la urgente necesidad de mejorar el ambiente térmico interior en las viviendas. Para ellos, temperaturas interiores por encima de 35°C corresponden a índices de calor con daño potencial.

Los efectos del calentamiento global y el estrés térmico se agravan en las ciudades como consecuencia del efecto de la Isla de Calor Urbana, que afecta también el desempeño térmico de los edificios y su consumo de energía para enfriamiento, según Pyrgou et al. (2017), quienes aseguran que los edificios aislados en Italia triplican su consumo energético en los periodos cálidos extremos, considerando 26°C como temperatura requerida para el enfriamiento. Incluso, los factores de riesgo ambiental medidos a partir de la variabilidad del ritmo cardíaco (Heart Rate Variability – HRV) han permitido caracterizar y clasificar tipos de ambientes urbanos en Israel (Schnell et al., 2016).

Es por ello que Hatvani et al. (2016) proponen a los decisores un cambio de política que integre el planeamiento de la infraestructura, el diseño de los edificios, la salud pública, la investigación social y la educación de la población para mejorar la resiliencia ante el estrés térmico.

Partiendo de que los sistemas de aire acondicionado y la ventilación mecánica pobremente operadas pueden causar un significativo Síndrome del Edificio Enfermo (Sick Building Syndrome - SBS) en climas cálidos y húmedos, Chen & Chang (2012) investigaron su influencia en el confort térmico en oficinas en Singapur, resultando que su efecto es menor que en otras latitudes. En este caso, por el excesivo frío, los ocupantes preferían temperaturas más altas.

Ante el calor extremo en las ciudades, las condiciones socioeconómicas agravan la vulnerabilidad de ciertos sectores sociales, como los pobres o las minorías étnicas o raciales (Uejio et al., 2011), los discapacitados y los ancianos (Sampson et al., 2013).

Según Loenhout et al. (2016), la exposición a ambientes de altas temperaturas conduce a un aumento de la mortalidad y la morbilidad, especialmente en la tercera edad. Estos autores investigaron la relación entre la temperatura interior y los problemas de salud relacionados con el calor en los ancianos de Holanda. Durante la semana más caliente del estudio, la temperatura promedio de la sala y el dormitorio fue aproximadamente 5°C más alta que durante la semana de referencia, lo cual generó disturbios del sueño y exceso de sudoración. Para un aumento de 1°C de la temperatura interior, las molestias debido al calor y afectaciones al sueño se reportaron en un 33% y 24%, por lo que se demostró la relación entre los problemas de salud y la temperatura de la sala y el dormitorio.

Algunas investigaciones han demostrado que los grandes asentamientos informales precarios tienden a estar expuestos a temperaturas más intensas localmente en comparación con los de menores dimensiones en Ahmedabad, por lo que no se ha logrado definir si son éstos los que generan las altas temperaturas locales o es que ellos se ubican en lugares pobremente construidos con elevadas temperaturas. Como quiera, queda confirmado no sólo la relación entre el hábitat de la población de menores recursos y el estrés térmico, sino del microclima con las morfologías urbanas (Wang et al., 2012).

Un estudio realizado en viviendas de estratos bajos no climatizadas en Atenas (Sakka et al., 2012) arrojó temperaturas interiores superiores a 40°C, con mínimas siempre por encima de 28°C, y casi el 85% del tiempo las temperaturas excedieron los 30°C, con períodos continuos de más de 6 días con valores mayores de 33°C. A partir de estos resultados, los autores discuten la necesidad de implementar técnicas que permitan mejorar la calidad ambiental interior de las viviendas de la población de menores ingresos en los períodos de calor extremo.

Partiendo de reconocer el incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos de calor extremo y su relación con la morbilidad y la mortalidad, pero admitiendo a la vez que sus efectos no son uniformes y que pueden variar en grandes regiones como consecuencia de factores sociodemográficos y ambientales que impactan la capacidad de respuesta o adaptación y contribuyen a la vulnerabilidad de ciertas poblaciones, Nayak et al. (2018) han desarrollado un Índice de Vulnerabilidad de Calor (Heat Vulnerability Index- HVI) aplicado en Nueva York. Trece variables fueron reducidas a cuatro componentes significativos que representan la vulnerabilidad: social e idiomática; la socioeconómica; la ambiental urbana, y el aislamiento social de los ancianos. Los valores varían espacialmente en el estado de Nueva York, donde las áreas metropolitanas son las más vulnerables, y el mayor estrés de calor se corresponde con los valores más elevados del HVI.

#### **1.4.1. Impacto en el desempeño. Afectaciones a la productividad**

Es sabido que el estrés de calor causa reducciones en el bienestar y en la salud, y que en la medida que la temperatura promedio anual se incrementa, esto afectará a más personas. Según Zander et al. (2017), el estrés térmico puede manifestarse mucho antes de que los síntomas clínicos se hagan evidentes, con profundos efectos en el desempeño. Estos autores sugieren que las percepciones psicológicas del calor deben ser consideradas para predecir las afectaciones y los planes de adaptación, tanto en las viviendas como en los espacios públicos.

Según Varghese et al. (2018), hay una creciente preocupación sobre las enfermedades ocupacionales y las pérdidas de productividad, siendo las principales manifestaciones mecanismos como fatiga, reducción del desempeño psicomotor, pérdida de la concentración y reducción de la alerta, con sus correspondientes implicaciones no sólo sociales, sino económicas.

Tanto en economías desarrolladas como en desarrollo la exposición a ambientes térmicos extremos puede afectar la capacidad de trabajo y por último la salud, tanto en exteriores como interiores, como consecuencia de la combinación del ambiente natural o artificial, la generación metabólica por el trabajo físico, los procesos específicos del lugar de trabajo los requerimientos del vestuario protector que impiden la disipación del calor. Esto puede afectar la capacidad de trabajo, ocasionar efectos crónicos para la salud, constituir riesgos para el trabajador y reducir la productividad (Ceung et al. 2016). Nunfam et al. (2018) han intentado demostrar, además, el impacto social del estrés térmico ocupacional y las estrategias de adaptación, sintetizándolo en tres categorías: conciencia acerca del estrés térmico ocupacional; impacto social del estrés térmico, y adaptación de los trabajadores al estrés.

Un estudio australiano del efecto de las temperaturas en los trabajadores arrojó que un mínimo número de reclamos por compensación se produce cuando la máxima temperatura diaria es 25°C, mientras que los días de temperaturas muy altas se asocian con los mayores riesgos de lesiones en los ocupantes, lo cual hace pensar que se deben considerar rangos más amplios de condiciones térmicas para prevenir lesiones y enfermedades en los puestos de trabajo (Varhese et al., 2019).

Investigaciones desarrolladas por Nematchousa et al. (2019) en el clima cálido y húmedo de Camerún demostraron el importante efecto del aire interior en la productividad de los trabajadores de oficina, quienes estiman que su desempeño mejora entre 17,5°C y 23,4°C, mientras que el disconfort térmico total se registró por encima de 28°C, momento en el cual se reduce drásticamente el desempeño laboral.

Otra investigación sobre el efecto de las elevadas temperaturas y el movimiento del aire en el confort y la productividad reportada por los trabajadores de oficinas con ventiladores de techo en los trópicos, fue realizada por Lypczyska et al. (2018) en ambientes con temperaturas de 23°C y de hasta 28°C, consideradas muy elevadas. Los resultados demuestran que las condiciones confortables con sensaciones térmicas cercanas al punto neutro se alcanzan a temperaturas de 26°C con los ventiladores funcionando. El incremento de la temperatura de 23°C a 26°C favoreció un significativo aumento de la aceptabilidad térmica (de 59% a 91%) y un ahorro de 44 kWh/m<sup>2</sup> al año en energía eléctrica usada para el enfriamiento de confort. Por otro lado, la temperatura podía elevarse a 27°C sin crear un impacto negativo cuando se proporciona un movimiento de aire controlable, y la satisfacción térmica era significativamente superior en espacios de 26°C con ventiladores operables con respecto a la típica temperatura de 23°C. Incluso, la Humedad Relativa en la oficina decreció de 62% (cuando la temperatura era 23°C) a 50% con 27°C. La habilidad para concentrarse, estar alerta y ser productivos reportada por los propios ocupantes fue comparablemente alta en todas las condiciones. Según los resultados, el desempeño laboral se relaciona pobremente con la temperatura de la habitación, pero se incrementa con la satisfacción térmica individual.

Diversos indicadores se han aplicado también a la evaluación de la exposición al calor, específicamente de los trabajadores, sobre la base de las condiciones meteorológicas, fisiológicas y de trabajo. Tal es el caso del estudio realizado por Opitz et al., (2016) para Viet Nam, donde las excesivas temperaturas nocturnas no permiten que los trabajadores se recuperen de los impactos en la salud como consecuencia del trabajo en ambientes calurosos. Para ello se emplearon dos índices: el Índice del Servicio de Calor del Tiempo Nacional en los Estados Unidos (US National Weather Service Heat Index) para el día, y la Temperatura Interior Aparente (Indoor Apparent Temperature) durante la noche. El número de noches por año en los que el índice de calor excede los 28 °C está entre 131 y 170 por año, y esta situación va a empeorar como resultado del cambio climático.

Numerosas investigaciones se han dirigido a evaluar el impacto negativo de las altas temperaturas no sólo en los trabajadores de manera general como el de Sheng, y otros (2018) en China, sino también específicamente de los obreros industriales. Tal es el caso del trabajo desarrollado por Hamerezaee, y otros (2018) en la industria de acero en Irán, que reveló que los parámetros del semen de los obreros estudiadas expuestos al calor, estaban en los niveles límite del rango de normozoos y significativamente inferiores a los controles, recomendando para estos estudios el índice WBGT. Otra investigación sobre el impacto de la exposición al calor en la salud y el desempeño de trabajadores de la industria del acero en Turquía fue desarrollada por Fahed y otros (2018) a partir del "Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), la Tensión Fisiológica (Physiological

Strain - PSI) y el “Heat Stress Index” (HSI), índices, y usando el modelo (PMV)-productividad. Los valores más altos de WBGT (entre  $31,32 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  y  $31,34 \pm 0,74^{\circ}\text{C}$ ).

Krishnamutthy et al., (2017) investigaron los impactos del estrés térmico ocupacional en la productividad y la salud de obreros de la industria del acero al sur de la India, empleando el WBGT, encontrando evidencias preliminares que muestran que la exposición al calor y la carga de trabajo afectan la salud de los trabajadores y reducen su capacidad de trabajo. Según estos autores, los riesgos para la salud y la productividad en los países tropicales en desarrollo pueden agravarse por las predicciones de aumento de las temperaturas como consecuencia del cambio climático, sin adecuadas intervenciones y políticas.

Una investigación sobre el ambiente térmico y las condiciones de trabajo en la industria portuguesa del vidrio también usó el índice WBGT, conjuntamente con el PHS (Predicted Heat Strain), demostrando que casi el 80% de los puestos de trabajo estudiados son propensos a condiciones de estrés térmico, y que los máximos porcentajes de sudoración presentan igual valor en aproximadamente el 40% de estos. Adicionalmente, en casi el 25% de los casos la temperatura rectal estimada fue superior a  $38^{\circ}\text{C}$  por un período de exposición de una hora (Oliveira et al, 2018). También se han desarrollado diversos estudios del impacto del estrés térmico en mineros de Ghana (Nunfam V. F., Van Etten E. J., Oosthuizen J., Adusei-Asante K., and Frimpong K., 2019). Morgado, Talaia, y Teixeira (2017) propusieron un nuevo modelo simplificado para evaluar el ambiente y la sensación térmica en espacios industriales en Portugal, con vistas a evitar los desórdenes ocupacionales y basado en el Índice “EsConTer” que está de acuerdo con el THI, así como con el PMV, ya que el modelo PMV-PPD se alinea con el EsConTer-PPD. Adicionalmente se usan mapas de colores como herramienta útil para señalar las áreas más vulnerables, así como la dinámica del ambiente térmico en el espacio interior con vistas a la toma de decisiones.

No sólo se han realizado estudios para diagnosticar y evaluar el estrés térmico, sino que se han elaborado propuestas para mejorar el desempeño de los trabajadores. Tal es el caso de los sistemas microclimáticos de enfriamiento (microclimate cooling systems – MCSs) analizados por Chang et al. (2015) con sus correspondientes respuestas fisiológicas y psicológicas a partir de que se atenúa la temperatura corporal en  $_{0,34}^{\circ}\text{C}$  por hora y la proporción de sudoración en  $_{0,30}$  L por hora, así como se incrementa el desempeño de manera significativa, en 33 escenarios con condiciones ambientales entre  $30^{\circ}\text{C}$  y  $48^{\circ}\text{C}$ , así como humedades relativas entre 8,6% y 75%.

En este sentido, Nerbass et al. (2017) examinan métodos de valoración del estrés de calor, estrategias para su mitigación y prevención, y sus consecuencias económicas, resumiendo que la combinación del incremento de

las temperaturas con el difícil acceso al agua potable, exacerba los efectos en los trabajadores, de manera que se hace urgente identificar prácticas laborales y estrategias robustas de prevención y mitigación.

#### **1.4.2. Impacto en el desarrollo intelectual. Escuelas**

No solo el impacto del ambiente térmico en el bienestar y aprendizaje de los estudiantes ha sido investigado, sino también, la calidad ambiental integral y su influencia en los costos del ciclo de vida en las escuelas. Shan et al. (2018) demostraron que considerar el bienestar y desempeño de los estudiantes puede conducir a beneficios netos totales, y que otras formas tradicionales de medir enfocadas en la energía en los edificios y la eficiencia en el uso de los recursos deben ser balanceadas con los factores humanos, ya que las condiciones térmicas y la calidad del aire en las aulas escolares suelen ser peores que lo estipulado en las normas.

#### **1.4.3. Impacto en la salud**

El impacto de las altas temperaturas en la salud también ha sido ampliamente demostrado, por ejemplo, en las enfermedades respiratorias (McCormack et al., 2016). Zheng et al. (2019) han evaluado el estado fisiológico de las personas sometidas a altas temperaturas interiores, a partir de cinco parámetros: temperatura de la piel; temperatura rectal; ritmo cardíaco; presión sistólica y tasa de sudoración, que integran el Conteo del Estado Fisiológico (Physiological State Score – PSS). De hecho, Zhu et al. (2018) han realizado un estudio experimental del confort térmico humano a partir de la variabilidad del ritmo cardíaco. Ha sido incluso reconocido que las primaveras cálidas constituyen fuentes de infección (Rebellón et al., 2019).

Zamanian et al., (2017) encontraron asociaciones entre los índices de calor y parámetros fisiológicos (presión sanguínea, temperatura basal y de la piel, y pulso), particularmente de la temperatura de la piel con el WBGT y el índice de humedad, aunque no encontraron asociaciones significativas con otros índices de calos (UTCI, PHP, HIH, STI). Concluyeron que la salud de los campesinos se ve afectada por parámetros fisiológicos, y que el WBGT y el “Humindex” son los que mayor asociación muestran con los parámetros fisiológicos. También Choi and Yeom (2019) estudiaron la relación entre la satisfacción térmica de los ocupantes y la respuesta fisiológica (ritmo cardíaco y temperatura del cuerpo) en el ambiente de una oficina.

Para Deng et al. (2018), en el “golpe de calor” o “heatstroke” se pueden detectar tres etapas: un incremento inicial lineal de la temperatura debido a la carga de calor descompensada, un equilibrio debido al sudor y una progresión rápida final por la deshidratación. El golpe de calor puede ocurrir incluso temprano en la primera etapa por la falta de termorregulación en un ambiente cálido y húmedo o tarde en la tercera etapa por deshidratación en un ambiente cálido y seco. El incremento de la velocidad del aire lo retarda en un ambiente cálido seco, pero lo acelera en uno seco.

Las variaciones de temperatura han sido otro aspecto estudiado con respecto a su impacto en la salud. Zhao et al. (2019) investigaron su relación con la hospitalización por arritmia cardiaca en Brasil, concluyendo que los factores climáticos pueden influir en las enfermedades cardiovasculares de la población.

Sin embargo, nuevos conocimientos se ganan sobre los efectos metabólicos en la salud de la exposición a temperaturas fuera de la zona de confort, que ambientes ligeramente fríos y cálidos (por ejemplo, la exposición intermitente a ambientes frescos por diez días) incrementan el metabolismo de forma positiva, comparable con las mejores medicinas o actividad física terapéutica. Hay indicadores de que los parámetros cardiovasculares pueden ser positivamente afectados por una exposición regular al calor y al frío, lo cual no significa que es necesario sufrir de disconfort para ser saludable, sino que de la excursión temporal prolongada fuera de la zona de confort resulta la aclimatación y el aumento de los rangos de confort (Marken Lichtenbelt et al, 2017).

#### **1.4.4. El sueño**

Otro impacto negativo registrado como consecuencia de la exposición a ambientes calurosos consiste en la afectación al sueño. Según Joshi et al. (2016), durante las últimas décadas ha habido un declinar en la duración promedio del sueño y en su calidad, que ha afectado de manera general la salud de la población, como consecuencia del aumento en la iluminación artificial, la televisión y el ruido en la sociedad post- industrial. Sin embargo, el sueño es esencial para la restauración de la salud y el bienestar y tiene un efecto directo en la calidad de vida del individuo. Para estos autores la temperatura neutra en el microclima para dormir es de aproximadamente 30°C, con una zona de confort entre 28°C y 31°C para la mayoría de los seres humanos.

Para Shen, Tan, and Wu (2015), el confort térmico al dormir es uno de los factores críticos que afectan la calidad del sueño. Para Hendel y otros (2017), dada la importancia de las temperaturas nocturnas en la mortalidad provocada por las olas de calor y la importancia de la calidad del sueño de los individuos para recuperarse de la exposición al calor durante el día, adaptar el hábito de dormir para reducir el tiempo de sueño expuesto al intenso calor puede ayudar a reducir el impacto de las olas de calor en la salud. Estos autores utilizaron el Índice Térmico Climático Universal (Universal Thermal Climate Index - UTCI), la Temperatura Percibida (Perceived Temperature - PT) y la Temperatura Fisiológica Equivalente (Physiological Equivalent Temperature - PET) para investigar esto en apartamentos de París, tomando 26°C como valor de ajuste.

Análisis de las señales emanadas de los electrocardiogramas indican que las personas tardan más en dormirse cuando la temperatura de la habitación se desvía moderadamente del valor neutral, reportándose, además, una más pobre calidad subjetiva de sueño (Lan et al., 2017). Leung & Ge (2013) plantean que las condiciones térmicas óptimas del cuerpo humano para dormir difieren significativamente de las necesarias para estar despierto. Numerosos son los estudios realizados con respecto a las temperaturas de confort requeridas para

el sueño, tanto en la habitación como específicamente en la cama, y en diferentes partes del cuerpo, con vistas a trazar estrategias específicas dirigidas al ahorro de energía. Lan et al. (2017) proponen cinco enfoques para mejorar el ambiente térmico con bajo consumo de energía. Song et al. (2015) encontraron que el clima de la cama juega un rol significativo en el período de sueño y que su temperatura varía en un rango mucho más estrecho que el del ambiente interior. Sobre los requerimientos y sensaciones térmicas de las diferentes partes del cuerpo también se ocupan Liu et al. (2016), quienes plantean que la menor condición de insatisfacción térmica ocurre cuando las personas perciben que es ligeramente frío en el rostro y ligeramente cálido en el cuerpo cubierto durante el sueño.

#### **1.4.5. Mortalidad.**

La exposición a temperaturas ambientales extremas ha sido ampliamente descrita como causa del incremento de la mortalidad (Martínez & Basagaña, 2019). Por otro lado, la variación temporal de la temperatura en relación con el riesgo de mortalidad es un tema importante en la era del cambio climático (Kim et al., 2019). La asociación de las temperaturas con la mortalidad cardiovascular está ampliamente aceptada, por lo cual Li et al. (2018) exploran proyecciones de años de vida perdidos en China para escenarios futuros.

Según Harlan et al. (2012), la mayoría de las muertes relacionadas con el calor ocurren en las ciudades, tendencia que se ampliará con la urbanización y el cambio climático. Estos autores han estimado los efectos de la población de los barrios, así como los ambientes construidos y naturales en las muertes debido a la exposición al calor en Maricopa County, Arizona (2000–2008), en función de la vulnerabilidad socioeconómica, el aislamiento de los ancianos y la falta de vegetación.

En otro estudio realizado en Maricopa County, Eisenman et al. (2016) encontraron que los residentes que reciben el calor lentamente pueden también mitigar sus efectos, particularmente en barrios con vulnerabilidad social. En la medida que las temperaturas aumentan, crece la mortalidad por enfermedades relacionadas con el calor, pero la protección térmica de los edificios no se asocia con la mortalidad, y sí la vulnerabilidad social. Sin embargo, Liu et al. (2017) afirman que la mayoría de las muertes por ola de calor ocurren en edificios, como resultado de sus características térmicas y ambiente local.

Un estudio en ciudades de Chipre demuestra que el riesgo de mortalidad por el calentamiento urbano se incrementa para hombres entre 65 y 69 años y mujeres entre 65 y 74, siendo las mujeres más vulnerables al calor extremo (Pyrgou and Santamouris, 2018). Una investigación similar fue realizada por Rosenthal et al. (2014) para Nueva York, teniendo en cuenta los aspectos socioeconómicos y demográficos, factores de salud, así como en ambiente construido y biofísico.

Pero los patrones y factores de riesgo cambian dentro de una misma ciudad, como han demostrado Hondula et al. (2015) en siete ciudades de los Estados Unidos. Por otro lado, estudios epidemiológicos sobre el impacto de la temperatura exterior en la salud han demostrado la capacidad de los humanos para adaptarse al clima local (Thai et al. 2019). Estos autores han evaluado el impacto de las altas temperaturas interiores en la mortalidad. La temperatura interior de mínima mortalidad (indoor minimum mortality temperatures – iMMT) varía con la distancia al Ecuador, lo cual evidencia la adaptación humana a las temperaturas locales, reforzando la teoría del confort adaptativo. Reconocer esto conduce a políticas flexibles y optimizadas para proteger la salud pública contra los eventos de temperatura extrema y ayuda a reducir para regular la temperatura interior sin comprometer la salud de los ocupantes.

## **1.5. Costo – beneficio y análisis del ciclo de vida**

### **1.5.1. Enfoques metodológicos**

En la literatura internacional consultada, se presentan diversos enfoques para abordar el análisis costo beneficio y el análisis del ciclo de vida, con grandes similitudes y ligeras especificidades.

#### **Costo – efectividad**

Término empleado por Tubelo et al. (2018), y al cual Zhang et al. (2018) se refieren como “Costo – efectivo aparente”. Generalmente se emplea cuando se trata de evaluar un programa o una política, en lo cual es necesario considerar los costos de implementación, incluyendo los administrativos y los incentivos financieros, así como los costos individuales de los participantes. El resultado se obtiene de dividir los costos entre los beneficios (Yushchenko & Patel, 2017).

Según Dadoo et al., (2017), este enfoque integra el balance de energía y cálculos económicos “bottom – up” considerando el costo de inversión total y marginal de la eficiencia energética, así como el valor neto presente del ahorro total y marginal de las medidas que se tomen. Es sensible a las tasas reales de descuento e incremento de precios. Niemelä et al. (2017) lo emplean para evaluar las medidas de renovación de edificios con vistas a satisfacer más altos criterios de desempeño energético, y Mauro et al. (2015) lo usan para evaluar todos los posibles paquetes de rehabilitación. Fong et al. (2017) le llaman “Costo – efectividad económica” y Dadoo et al. (2017) le denominan “Costo – eficiencia” cuando se refiere específicamente al ahorro de energía.

#### **Costo – beneficio**

En el análisis costo – beneficio propiamente, Khoshbakht et al. (2017) se cuestionan la validez y credibilidad, ya que, según él, tienen cierto grado de prejuicio cuando se basa en la recolección de criterios subjetivos. Los aplica a la evaluación de edificios verdes, donde los costos se refieren al diseño, la construcción, los materiales, el equipamiento, las certificaciones y la gestión, mientras que los beneficios se relacionan con el desempeño

(confort ambiental, consumo de energía, impacto ambiental, salud y productividad de los empleados) y la reducción de costos (costos de ahorro de energía, beneficios financieros de las compañías, valor de la propiedad en el mercado y los alquileres, oportunidades de mercado e impuestos de carbono).

Según este autor, los métodos de recolección de la información pueden ser estudios subjetivos (en la post construcción a partir de perspectivas de los usuarios), estudios objetivos (exploración de costos y beneficios post construcción), cuestionarios (entre profesionales e investigadores sobre costos, empleando el examen cruzado), simulaciones (modelación de edificios y comparación con edificios reales o pares), y meta-análisis (basados en trabajos de investigación precedentes para identificar patrones o relaciones. A su vez, los enfoques analíticos pueden basarse en la comparación de edificios no pareados, es decir, la comparación del caso de estudio con un edificio convencional, o en la comparación entre pareados, donde la situación transformada se compara con la original.

Fan et al. (2018) vinculan el análisis costo – beneficio con la “teoría de los costos de transacción”, haciendo énfasis en los costos ocultos como la reputación de la compañía, la satisfacción en el empleo, la competencia, las oportunidades, las habilidades profesionales y la calidad de vida, entre otros.

### **Costo – óptimo.**

Este enfoque generalmente se emplea en la renovación de edificios (Kuusk et al. 2014), ya sea para comparar dos casos (Ferrari and Zagarella, 2015), para evaluar el “paquete” de rehabilitación (Mauro et al., 2015) o para maximizar el desempeño ambiental (Niemelá et al., 2017) en el cual se evalúan las emisiones de CO<sub>2</sub>, el desempeño energético a partir del consumo de energía, especialmente, la energía primaria, el confort térmico, la productividad y la viabilidad económica.

### **Costo global.**

Este concepto generalmente incluye todas las soluciones (Niemelá et al., 2017) y también se emplea para diferentes niveles de desempeño energético (Kuusk et al. 2014). Para González (1997), la economía global de la vivienda se expresa a través del costo global y el costo anual, en función de los años de vida útil, y es éste el indicador que permite comparar diversas soluciones, pues tiene en cuenta los costos iniciales presupuestados que dependen en gran medida de la solución de diseño a través de la cual pueden optimizarse, los costos reales de ejecución de la obra, o costos iniciales, más los costos de mantenimiento y explotación a lo largo de la vida útil. Esto permite valorar la verdadera economía, teniendo en cuenta la durabilidad.

Por supuesto que en este enfoque faltarían los costos de la etapa final del ciclo de vida, es decir, el fin de la vida útil y el desuso, momento en el cual la vivienda deberá incorporarse nuevamente al medio ambiente

mediante su re-uso, reciclaje o deconstrucción, que es la opción más recomendable (Llanes, 2006), para lo cual sería necesario tener en cuenta desde la etapa de diseño la construcción de la deconstrucción.

### **Análisis del ciclo de vida o Costo del Ciclo de vida (LCC) (Akyüz et al., 2017)**

Esta herramienta se usa para escoger las mejores estrategias, tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética como de la economía (Invidiata and Ghisi, 2016). Estos autores asumen la esperanza de vida o vida útil de una vivienda en 63 años, y usualmente consideran la inflación promedio de los últimos 10 años para determinar los costos futuros.

Saafi & Daouas (2018) consideran el costo del ciclo de vida a 20 años, mientras que Niemelä et al. (2017) establecen un período de 15 años para estimar las pérdidas de productividad ocasionadas por las condiciones no favorables del confort interior, sin mayores costos de mantenimiento. Las afectaciones a la productividad se valoran a partir del salario promedio de los trabajadores, tanto directo como seguridad social e indirectos y la adaptación de los trabajadores al ambiente térmico se considera por el cambio de ropa (Niemelä et al., 2017).

En el análisis del ciclo de vida Fong et al., 2017) consideran la emisión de carbón en las fases de suministro e instalación, el desempeño energético en la fase de operación y el impacto ambiental en términos de demanda energética y emisiones de CO<sub>2</sub> en las dos fases.

En algunas de las investigaciones consultadas, sobre todo, las relativas a la promoción de edificios verdes, se recomienda la posibilidad de contar con mecanismos externos de apoyo financiero (Niemelä et al., 2017) e incentivos económicos (Fan et al., 2018, así como aplicar la “Teoría del costo de transacción” y el “Esquema de concesión del área de piso bruta (Fan et al., 2018).

La viabilidad económica juega un rol pivote en la estimulación del diseño, la construcción y el uso de los edificios verdes, y se proporciona una revisión de los recientes estudios sobre la viabilidad económica del “going green”, incluyendo análisis costo – beneficio desde la perspectiva del ciclo de vida del edificio y de una mayor participación del mercado (Zhang et al., 2018). Estos autores insisten en la importancia de considerar los beneficios auxiliares a largo plazo (o intangibles) en el análisis de la viabilidad económica para desarrolladores y ocupantes, y desarrollar una investigación sobre las dinámicas de la adopción de edificios verdes, y arreglos institucionales para simular prácticas verdes en el sector, sobre todo, teniendo en cuenta los incrementos de valor como consecuencia de los niveles obtenidos en las certificaciones ambientales.

### 1.5.2. Resultados

Los resultados más significativos de los análisis costo - beneficio del ciclo de vida realizados en las investigaciones precedentes, se han dividido en dos grandes grupos, los que se relacionan con el bienestar de los usuarios y los que se refieren a resultados económicos y ambientales.

En cuanto al primer grupo, Niemelä et al., (2017) usan las horas totales de personas insatisfechas (PDH) como un indicador para representar la calidad de las condiciones térmicas interiores en los análisis, y afirma que la productividad no se afecta con temperaturas operativas entre 20 y 25°C, pero que cuando la temperatura operativa es superior a 25°C, la pérdida total de productividad se asume en 2%/°C, es decir, 8% a una temperatura promedio de 29°C y 10% a una de 30°C (Wyon, 2000, citado por Niemelä et al., 2017). En este caso, las pérdidas de productividad se evalúan de acuerdo con las condiciones de confort térmico y el efecto de factores como las condiciones de iluminación y la ventilación se asumen como constantes y por tanto, relativamente bajas. Finalmente, el costo horario de 38 €/h se usa como valor de trabajo perdido debido a las condiciones desfavorables del confort térmico en el análisis del ciclo de vida en Finlandia (Nunfam et al., 2018).

Por otra parte, se afirma que las envolventes optimizadas podrían mejorar el confort térmico en un 97% en comparación con una envolvente típica, pero cuesta un 50% más (Tubelo et al., 2018). Por su parte, Fong et al. (2017) afirman que el método de diseño integrado en una escuela reduce el tiempo de disconfort en 25% y la demanda de enfriamiento del edificio en 5%.

En cuanto a los resultados económicos y ambientales concretos, se encuentra que un proyecto de edificio verde adiciona un 5% al costo de construcción y los costos de diseño representan entre el 8 y el 12% de éste (Krishnamurthy, y otros, 2017). Niemelä et al. (2017), aseguran que es posible obtener un 65% de retorno de la inversión y 63% de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, cuando la eficiencia energética y el confort térmico se mejoran simultáneamente en el costo – óptimo.

Por su parte, Fong et al. (2017) afirman que se pueden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta y 32.71% y el costo del ciclo de vida hasta 23,89 por 20 años. Según Doodoo et al. (2017), el costo óptimo final de los ahorros varía entre 34% y 51% dependiendo de la elección de la tasa de descuento real y el incremento del precio de la energía, y los ahorros de electricidad correspondientes varían entre 35% y 43% en Suecia.

Un análisis de costo de ciclo de vida de 20 años demuestra el costo - efectividad de los escenarios de techos fríos viejos y restaurados para techos no aislados con un ahorro neto de hasta 44,53 TND/m<sup>2</sup> y un período de retorno de 3,4 años (Saafi & Daouasm 2018). También, reducciones de hasta 60% en el consumo de energía

en los edificios de apartamentos de ladrillos son técnicamente posibles y económicamente razonables para una torre de apartamentos (Kuusk et al., 2014).

Así mismo, pueden obtenerse reducciones del 26% en la intensidad de uso de la energía y del 32% en intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con indicadores de referencia en los dos mejores edificios evaluados por Balaban & Oliveira (2017), con un costo de ahorro de energía de \$ 1 – 1,5 Millones por año por edificio, además de un ambiente saludable mejorado debido a la calidad del aire y ambiente interior, el confort térmico y la iluminación natural interior.

Por su parte, la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency - IEA) reporta que los edificios consumen el 32% de la energía total, y que en países tropicales más del 50% de la energía de los edificios se usa para el aire acondicionado. En un edificio en Malaysia se encontró que el 75% de la ganancia térmica fue radiada por el sistema de iluminación y la ganancia solar a través de la ventana. Se estima que 45,85% de la energía del edificio puede ahorrarse cambiando los puntos de referencia de las zonas de temperatura, modificando el sistema de iluminación y los vidrios para optimizar la iluminación natural y minimizar la ganancia de calor solar. A su vez, el mayor incremento en el costo inicial por las metodologías sugeridas por Akyüs et al. (2017) fue solo de 1,32%, por tanto, el estudio muestra que un edificio sustentable no necesariamente induce alto costo para la implementación de tecnologías si las correctas fueran seleccionadas para satisfacer la condición del edificio (Nazi et al., 2015).

Aplicando aislamiento térmico en las paredes y techo del edificio de una terminal, las pérdidas de calor decrecen en 48% y 56%, respectivamente. Adicionalmente, el análisis muestra que el período de recuperación ambiental es más corto que los períodos de recuperación económica. Un 10% de GFA (concesión) atrae a los desarrolladores para entrar en el mercado de los edificios verdes (Fan et al., 2018)

El edificio verde investigado por Dwaikat & Ali (2018) ahorra aproximadamente 71,1% de la energía en comparación con la línea base de la industria. Desde la perspectiva del ciclo de vida, el edificio verde ahorra aproximadamente 5756 kW h/m<sup>2</sup> que corresponde a \$2.796.451 a 1% promedio anual en el incremento del precio de la energía, pero si se considera un promedio de 5% incremento anual en los precios de la energía, alcanza aproximadamente \$12.107.060.

### **1.5.3. Costos**

Entre los recursos disponibles que deben ser aprovechados al máximo para una mayor sostenibilidad urbana, no sólo se encuentra al suelo, la infraestructura, el verde, el agua, el sol y el viento, sino también los materiales y elementos de construcción. El uso de materiales locales no sólo se justifica por la ventaja de reducir la

transportación, sino porque constituyen parte de la tradición, de manera que se adecuan al contexto, y son asimilados y conocidos por la población. Los recursos naturales deberán ser consumidos a menor velocidad que la de su renovación, y es conveniente promover siempre que sea posible el empleo de materiales reciclados y reciclables.

Como en la presente investigación el objeto de estudio es la vivienda de interés social en Portoviejo, se emplea el análisis costo – beneficio para demostrar la conveniencia de las soluciones propuestas con vistas a mejorar el ambiente térmico interior, considerando su costo global y anual a lo largo de la vida útil de la vivienda. Esto incluye los costos iniciales a los cuales se suman los de mantenimiento y reparación en función de la durabilidad de las soluciones constructivas propuestas. El costo anual se estima a partir de una vida útil asumida de 60 años.

Por tratarse de soluciones alternativas a partir del empleo de materiales disponibles localmente, algunos de los cuales no se encuentran en el mercado, no se consideran los incrementos de costo como consecuencia del proceso de inflación. Como que no se trata de viviendas de mercado, tampoco se incluyen los costos de transacción ni los mecanismos de estimulación.

#### **1.5.4. Beneficios**

En el objeto de estudio que constituye la vivienda de interés social urbana en Portoviejo, particularmente con techo de zinc, que es el más abundante, coinciden varios factores agravantes del estrés térmico de calor en espacios interiores, como el hecho de encontrarse en la región tropical, específicamente en el Ecuador geográfico, el contexto urbano y la población vulnerable.

Los mayores beneficios se obtendrán con respecto al bienestar de los habitantes, sobre todo en el horario de la tarde, que es cuando se producen las temperaturas más altas.

A pesar de que los rangos de confort tienen un carácter local y no existen estudios sobre el tema en Portoviejo, y sabiendo que además las posibilidades de adaptación a condiciones térmicas cambiantes son limitadas por el reducido rango de temperaturas que admite el cuerpo humano, se han tomado de la literatura internacional consultada, ciertos valores como referencia para el análisis costo – beneficio de las soluciones técnicas propuestas.

Existe consenso en que 26°C puede ser considerado un punto de cambio, límite de las condiciones de bienestar térmico (Pyrgou & Santamouris, 2018). Temperaturas cercanas a 30°C y superiores a 28°C ya se registran como no confortables en climas cálido – húmedos como el de Portoviejo (Omonijo, 2017); (Nematchousa et al.,

2019), de manera que comienza a afectarse la productividad de las personas, el rendimiento y la concentración en las labores domésticas o en el estudio. Por último, con temperaturas mayores a 35°C, cercanas a la temperatura del cuerpo, el intercambio de calor de éste disminuye significativamente, constituyendo un calor potencialmente dañino para la salud en la vivienda (Quinn et al., 2014); (Hanna & Tait, 2015); (Hatvani et al., 2016,b).

Por tanto, en los momentos en que se sobrepase la temperatura de 26°C se considera que las personas sentirán calor, y en la medida que las temperaturas superen los 28°C y se acerquen a los 30°C, se asumen posibles afectaciones a la productividad en el desarrollo de las labores domésticas, aunque el efecto no pueda cuantificarse, ya que las personas que realizan este trabajo y otros que se hacen en la vivienda, generalmente no perciben un salario por ello. Cuando las temperaturas interiores se acerquen al valor de 35°C se consideran posibles afectaciones potenciales a la salud de los habitantes.

Las reducciones de temperatura que se obtengan con las soluciones alternativas de cubierta propuestas contribuirán a reducir el período de tiempo en que los habitantes de la vivienda se encuentran sometidos a estrés térmico con afectaciones a su bienestar, su productividad y su salud. Otro posible beneficio económico directo en términos de ahorro energético, podría producirse en caso de emplearse un sistema de aire acondicionado, lo cual es poco usual en este tipo de vivienda.

No se consideran en este caso las afectaciones al sueño, ya que el estrés térmico se produce en horas de la tarde y no durante el sueño nocturno.

### **1.6. Variables objeto de estudio**

A partir del problema que se aborda en el presente trabajo, el objeto de estudio se enfoca en la escala arquitectónica, ya que la mayoría de la vivienda de interés social que desarrolla el MIDUVI, aun siendo urbanas, se localizan preferiblemente de forma dispersa en áreas periféricas, y el objetivo general de la investigación se dirige a contribuir a mejorar el ambiente térmico interior, más que a explorar otras tipologías habitacionales y morfologías urbanas que requerirían de cambios en las políticas.

Considerando las variables de diseño identificadas, se asumen contextos periurbanos, que es donde generalmente se ubica la vivienda MIDUVI objeto de estudio, la solución volumétrica de vivienda unifamiliar aislada de una planta y la solución espacial del proyecto típico repetitivo. En cuanto a la envolvente, la atención se concentra en la cubierta, que es el elemento que más influye en la temperatura interior de la vivienda, tanto por su posición en esta latitud, como por la solución constructiva predominante a partir de láminas de zinc, de

elevado coeficiente global de transferencia térmica, prácticamente ningún retraso térmico, reflectividad variable en función de su antigüedad y el estado de conservación, y elevada emisividad.

A partir de ese objeto de estudio, se consideran las variables de la solución constructiva que influyen en la reducción de la carga térmica a través de la cubierta, el costo anual unitario de las soluciones alternativas propuestas, y los beneficios reportados en cuanto a reducción del estrés térmico en los habitantes y el número de horas en que están sometidos a él.

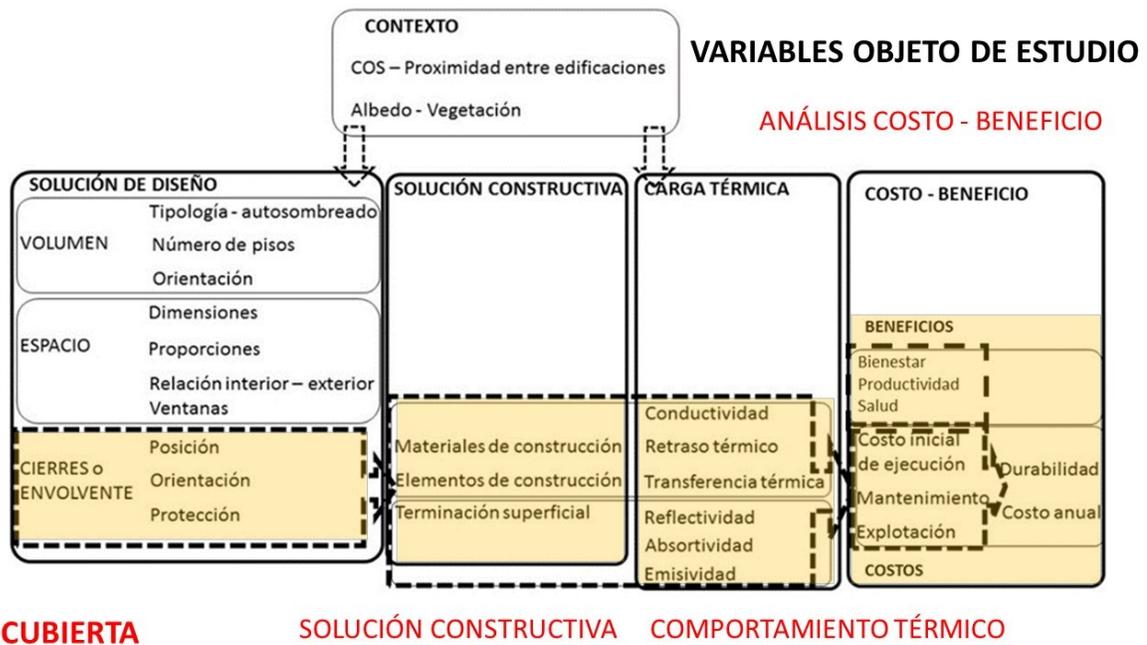


Figura 2: Variables objeto de estudio. (Elaboración propia).

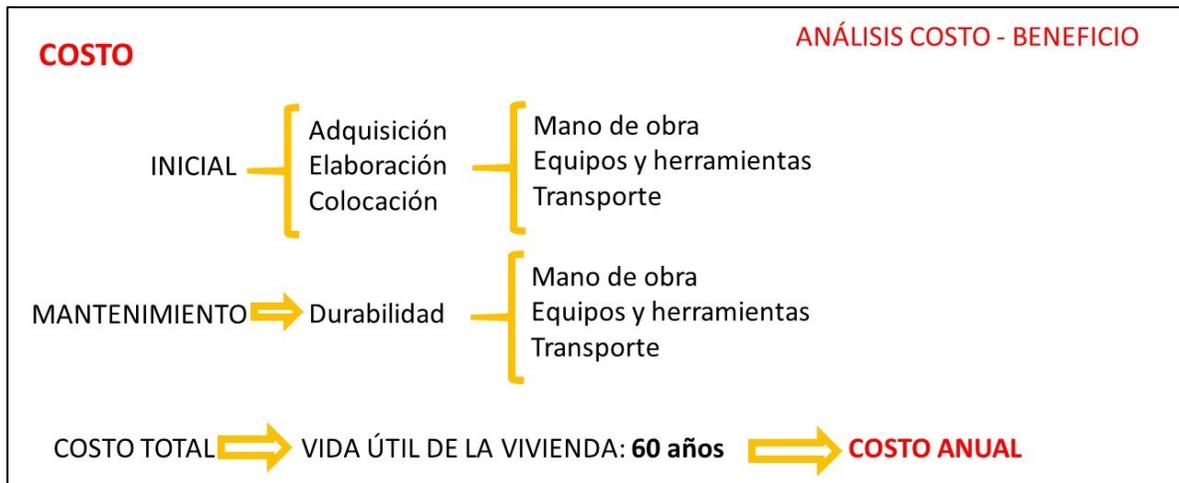


Figura 3. Estimación de COSTOS. (Elaboración propia).

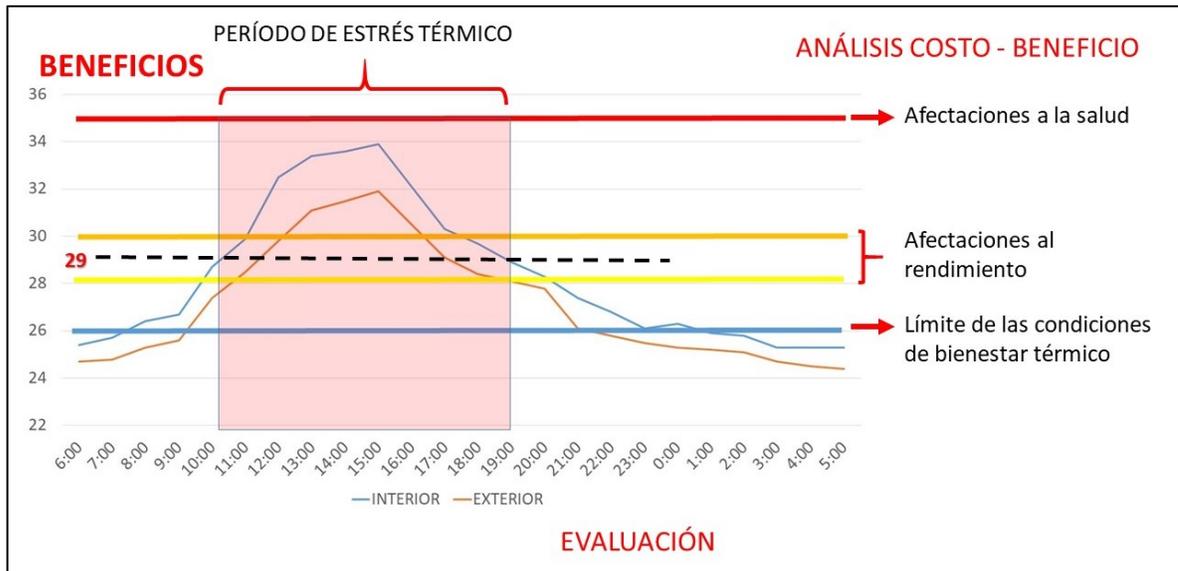


Figura 4. Estimación de BENEFICIOS. (Elaboración propia)

### 1.7. Conclusiones parciales

El derecho a una vivienda de calidad que promueva el buen vivir de la población urbana ha sido universalmente reconocido, y los estudios de la calidad de la vivienda de interés social y particularmente de su ambiente térmico han experimentado una importancia creciente en el ámbito internacional.

Con independencia de la diversidad de índices para evaluar la sensación térmica percibida por las personas, como enfoques para valorar la sensación térmica tanto interior como exterior y las estrategias de diseño recomendadas se emplearán en el presente trabajo la carta bioclimática de Givoni y el método de Mahoney.

A partir de los resultados de investigaciones precedentes, el impacto negativo del ambiente térmico de la vivienda en sus habitantes se evaluará en el presente trabajo a partir de la temperatura del aire interior, considerando 26°C como condición neutra de confort, más de 28°C como estrés térmico y falta de confort, y situaciones cercanas a los 35°C como de riesgo potencial para la salud.

A partir de las variables de diseño arquitectónico que influyen en el ambiente térmico interior de la vivienda, el objeto de estudio de la presente investigación queda definido como la vivienda de interés social periurbana unifamiliar aislada de una planta que construye MIDUVI con cubierta de zinc, y el énfasis va dirigido a la reducción del calor transmitido a través de la cubierta.

Para la elaboración de propuestas alternativas de solución con vistas a reducir la carga térmica a través de la cubierta, se experimentará con soluciones no convencionales a partir de recursos locales disponibles, fundamentalmente, naturales y reciclados.

Las soluciones propuestas se evaluarán a partir de un análisis costo – beneficio que considere su costo anual unitario para una vida útil de 60 años, y los beneficios que reportan en cuanto a reducción del estrés térmico de los habitantes y el tiempo que permanecen sometidos a él.

## **CAPÍTULO II.**

### **VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS) EN PORTOVIEJO. DIAGNÓSTICO DEL AMBIENTE TÉRMICO Y POSIBLES MATERIALES LOCALES COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA**

## **2. Vivienda de interés social (vis) en Portoviejo. Diagnóstico del ambiente térmico y posibles materiales locales como solución alternativa**

En el presente capítulo se parte de la caracterización del clima y el microclima de la ciudad de Portoviejo, la morfología urbana, la tipología habitacional y la estratificación social, para luego caracterizar la evolución de la vivienda social hasta la actual vivienda de interés social que produce MIDUVI y que constituye el objeto de estudio del proyecto de investigación.

Posteriormente se realiza un estudio exploratorio del ambiente térmico en la vivienda popular y la vivienda de interés social de la ciudad, con vistas a valorar la influencia de las variables de diseño y verificar el estrés térmico al que está sometida la población que habita la vivienda unifamiliar aislada de una planta con techo de zinc.

Por último, se elabora un inventario de los materiales tradicionalmente empleados en la ejecución de cubiertas, y otros recursos naturales o reciclables disponibles localmente que podrían ser empleados como solución alternativa para reducir la transferencia térmica a través de la cubierta de zinc.

### **2.1. Portoviejo. Clima y microclima. Estrategias de diseño**

El nombre del país se deriva precisamente de la línea ecuatorial que determina la latitud cero y lo atraviesa, a ambos lados de la cual se extiende el territorio nacional, desde 5° Sur hasta 1° Norte. Esto condiciona una alta intensidad de la radiación solar, que incide de forma mayormente perpendicular durante todo el año. Por tanto, las variaciones climáticas no están determinadas por la latitud, sino por la altitud, ya que la temperatura desciende aproximadamente 0,6°C por cada 100 m de altura, y el relieve topográfico andino en el Ecuador llega a superar los 5000m de altitud.

No obstante, la provincia de Manabí, en la cual se ubica la ciudad de Portoviejo, objeto de estudio, tiene costas en el Océano Pacífico, y de manera general, su altitud no rebasa los 200m, a pesar de que está atravesada por la cordillera "Costanera" que alcanza hasta 500m de altura sobre el nivel medio del mar. Hacia la faja costera presenta grandes sabanas áridas de escasa vegetación (Camino, 1998), pero por la variedad de microclimas, la zona de estudio presenta un clima cálido y húmedo en el cual las estaciones quedan definidas por la frecuencia e intensidad de las lluvias.

La ciudad de Portoviejo (Figura 5) fue fundada el 12 de marzo de 1535 y actualmente cuenta con una extensión territorial de 967,50 Km<sup>2</sup> y una población de 303 034 habitantes. Se encuentra a una latitud de 1° Sur, con una

altitud de 53 MSNMM, y presenta una temperatura promedio de 28°C y una humedad relativa de 82% (Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Portoviejo, s/f).



Figura 5. Ciudad de Portoviejo, Provincia Manabí, Ecuador.

La humedad relativa del aire es elevada durante todo el año, con valores medios mensuales que oscilan entre

67% en noviembre y 79,5% en junio. Sin embargo, resulta muy significativa la amplia oscilación de los valores diarios de la humedad relativa que se mantienen cercanos al 100% en horas de la madrugada, cuando ocurren las temperaturas mínimas, pero bajan del 60% (entre el 40% y el 60 %) durante el día, específicamente en los horarios en que se producen las temperaturas máximas (Ver Figura 6.).

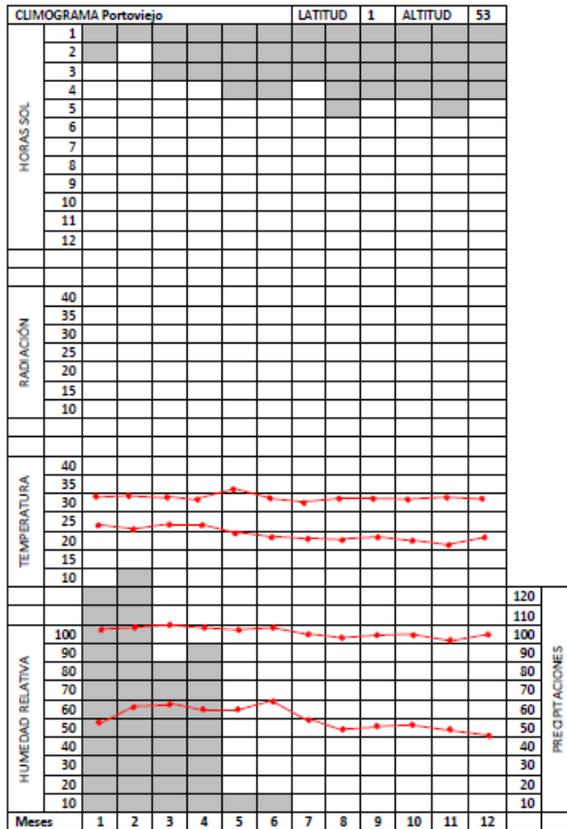


Figura 6. Climograma de Portoviejo. (Elaboración propia a partir de los costos de la estación meteorológica local)

Se identifican dos estaciones meteorológicas, una de lluvia, conocida como “invierno”, de enero a abril, en la cual las precipitaciones pueden alcanzar un acumulado de 132 mm, y una de seca de mayo a diciembre, en la cual las precipitaciones se reducen por debajo de 6 mm. En esa época en la que generalmente no llueve o llueve poco, la humedad relativa es relativamente menor, especialmente la mínima durante el período diurno, con valores entre 40% y 50%, pero los valores máximos, aunque ligeramente inferiores a los del período lluvioso, se mantienen por encima del 90%.

La estación meteorológica de Portoviejo, situada en el Jardín Botánico de la Universidad Técnica, no cuenta con información sobre los valores de la radiación solar. La nubosidad es muy alta todo el año, entre 6 y 7 octavos, excepto en abril y septiembre, que baja a 5 octavos. Como resultado de la elevada nubosidad, el índice de horas sol se encuentra por debajo de 5, con un promedio anual de 3,5 horas sol diarias.

Según los datos de la estación meteorológica local, el viento predominante proviene del noreste la mayor parte del año, y del sureste en los meses de mayo, junio, agosto y octubre, con velocidades medias bajas, que oscilan entre 1,4 m/s en febrero y agosto, y 1,9 m/s en mayo. Esta situación hace más difícil el logro de velocidades del aire que contribuyan a mejorar la sensación térmica de las personas en el espacio interior, por lo cual la reducción de la carga térmica que se transmite a través de la envolvente adquiere mayor importancia.

Además, la ciudad está ubicada en zona sísmica, Grado 9, con una probabilidad de ocurrencia de 10 % e intensidades de hasta 8 en la escala de Richter (Yépez, 2017). Justamente, durante la realización de esta investigación, en abril de 2016, la ciudad fue afectada por un sismo de intensidad 7,8 en la escala de Richter, que tuvo un efecto muy destructivo en la ciudad.

No existen estudios ni mediciones que permitan caracterizar con precisión el microclima urbano, pero por la morfología urbana, la compacidad de la masa construida, las secciones de vía y los materiales de construcción empleados (González & Sánchez, 2016) es posible suponer que con variaciones según el comportamiento de estas variables en las diferentes zonas, el efecto de la isla de calor urbana ocasiona temperaturas superiores en el área urbana, fundamentalmente, en horas de la noche.

Ploteando la combinación de los valores máximos y mínimos medios de temperatura y humedad relativa de cada mes del año en la carta bioclimática de Givoni (1998) (Figura 7), es posible apreciar que las condiciones térmicas durante el día (en color rojo) se encuentran fuera de la zona de confort, en el área correspondiente a la estrategia de enfriamiento mediante ventilación natural o mecánica. La primera resulta difícil en las condiciones del clima de Portoviejo, por las bajas velocidades del viento predominante, pero algunos puntos se localizan dentro de la zona de posible enfriamiento evaporativo, por los bajos valores de la humedad relativa del aire en esos momentos, es decir, en el horario del mediodía, cuando se producen las temperaturas máximas.

Por otro lado, la combinación de valores mínimos medios de temperatura y máximos medios de humedad relativa del aire, representativos del horario nocturno, también se encuentran todos fuera de la zona de confort, pero en este caso, no por la temperatura, que es relativamente baja (entre 19°C y 22°C), sino por la elevada humedad relativa, por encima de 90%. No obstante, como ya se expuso, es de suponer que los valores reales de la temperatura del aire exterior en zonas urbanas deben ser superiores a las registradas en la estación

meteorológica, lo cual ha sido comprobado con las mediciones de campo desarrolladas para la evaluación del ambiente térmico interior en viviendas tomadas como caso de estudio (ver acápite 2.3.2, Figura 21).

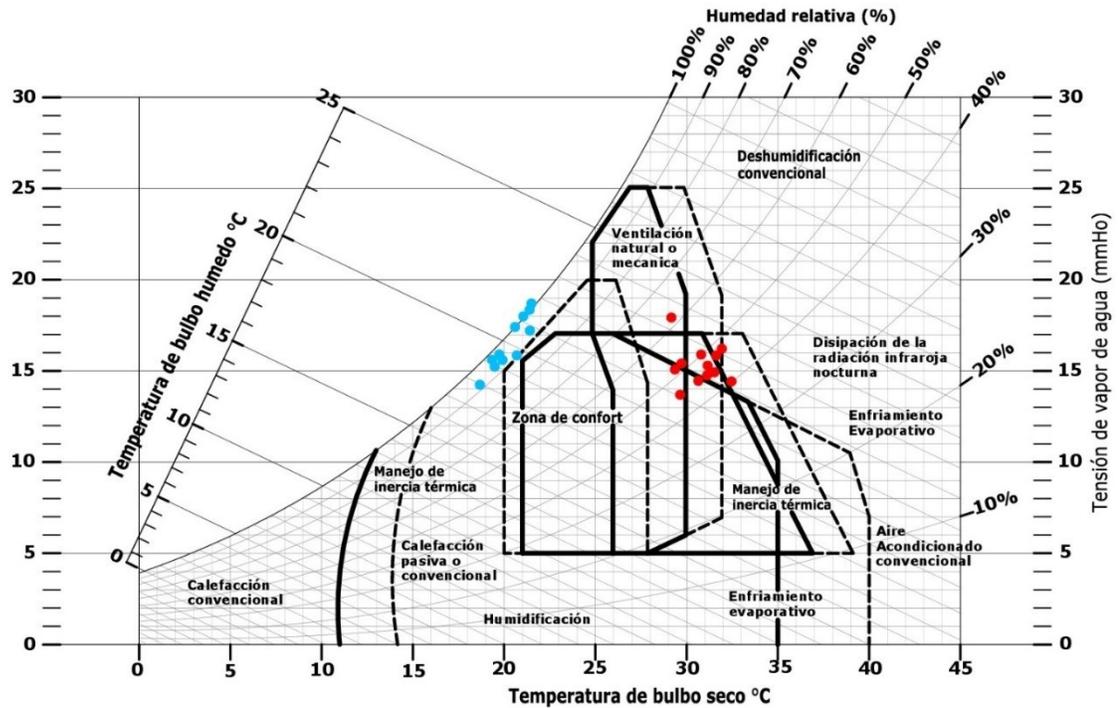


Figura 7. Combinaciones de valores máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa del aire medidos en la estación meteorológica de Portoviejo, ploteados en la carta bioclimática de Givoni. (Elaboración propia)

Los datos del clima de Portoviejo obtenidos en la estación meteorológica local se plotearon en las Tablas de Mahoney (Chidambareswaran, 2005) (ver Anexo 2), donde en función de la humedad relativa y la temperatura promedio, se establecen rangos de temperatura de confort diferenciados para el día y la noche. En las condiciones de Portoviejo, durante 8 meses el clima clasifica dentro del Grupo 4, por tener valores de humedad relativa media superiores a 70%, para lo cual con la temperatura promedio de 25,6°C (mayor que 20°C) se recomiendan rangos de confort entre 22°C y 27°C durante el día, y entre 17°C y 22°C en horas de la noche. Los cuatro meses restantes clasifican como Grupo 3, por la humedad relativa promedio menor o igual a 70%, y los rangos de confort propuestos varían entre 23°C y 29°C por el día y 17°C y 23°C por la noche.

Sobre esta base, se considera que la combinación de los valores de temperatura y humedad resulta en condiciones calurosas durante el día todo el año, y en la noche de enero a marzo, mientras que el resto del año las condiciones nocturnas son confortables. Así, los 8 meses en los cuales el clima es considerado como Grupo 4 (húmedo), se clasifica como “H1” (en cuyo caso el movimiento del aire es esencial), y los cuatro meses restantes considerados como Grupo 3, se clasifican como “A1” (que indica la necesidad de cierta capacidad térmica, recomendada en este caso, en las paredes), no sólo por la humedad relativa promedio inferior o igual

a 70%, sino también por la coincidencia con una amplitud de oscilación diaria de la temperatura superior a 10°C.

Como resultado, se identifican las siguientes estrategias de diseño recomendables:

- Edificios con su eje longitudinal orientado en la dirección este – oeste, de manera que los cierres exteriores queden principalmente orientados al norte y al sur. Esta constituye precisamente la principal limitación de esta metodología, desarrollada cuando aún el modelo urbano moderno no había sido cuestionado y no se habían desarrollado los estudios de microclima urbano. No obstante, de aquí es posible concluir sobre la conveniencia de priorizar en la medida de lo posible, la orientación de los espacios al norte y al sur.
- Edificios de volumetría simple, con espacios en una sola orientación, para favorecer la ventilación. Esto responde al mismo concepto anterior de edificios de longitudinales en contextos abiertos.
- Vanos de dimensiones medias, entre el 25% y el 40% de la superficie de la envolvente exterior.
- Paredes pesadas, tanto en el interior como en el exterior. Esta es la principal recomendación que varía con respecto a otras condiciones de clima cálido y húmedo, como consecuencia de la menor humedad relativa y mayor amplitud de oscilación de los valores de la temperatura del aire durante una parte del año, lo cual podría hacer recomendable una cierta inercia térmica de las paredes.
- Cubiertas ligeras y bien aisladas. Es contradictorio con la práctica común de usar láminas de acero galvanizado (zinc) sin capas de material aislante.
- Ubicar las aberturas en los cierres orientados al norte y al sur, a la altura del espacio de uso. Esta recomendación es coherente con las dos primeras que responden a volúmenes prismáticos alargados en contextos abiertos.
- Proteger los vanos de la radiación solar directa.

En resumen, se trata de un clima cálido, con una amplitud de oscilación diaria de las temperaturas entre 8,1°C y 12,3°C, gran variación de la humedad relativa durante el día, con máximas por encima de 91% en horas de la madrugada, y mínimas entre 40% y 60% al mediodía, razón por la cual, las condiciones son calurosas durante el día y demasiado húmedas en la noche, con marcadas estaciones de seca y lluvia. A partir de ahí, las estrategias recomendables de diseño pueden resumirse en máxima protección solar y permeabilidad al viento, con cubiertas ligeras y aislantes, es decir, de bajo coeficiente global de transferencia térmica, y paredes exteriores e interiores pesadas.

Estas recomendaciones no entran en contradicción con los requerimientos para reducir la vulnerabilidad con respecto al sismo, en cuyo caso pueden seguir resultando convenientes las cubiertas ligeras y las paredes pesadas, siempre que se cumplan los requerimientos estructurales. En cualquier caso, es conveniente evitar

recomendaciones simplistas de resistencia con respecto al sismo que puedan afectar las condiciones habitacionales requeridas para la vida cotidiana.

## 2.2. Morfología urbana. Tipología habitacional y estratificación social

Aunque no se dispone de información cuantitativa sobre la estructura de la población de la ciudad de Portoviejo por estratos sociales, es posible una zonificación urbana asociando los tipos habitacionales identificados con los quintiles propuestos por Sala (2002), de manera que es posible apreciar una cierta fragmentación. La clasificación por quintiles según el ingreso en función del salario mínimo en Ecuador aparece en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de distribución de ingresos de la población (Acosta, 2013).

Niveles de distribución de ingresos de la población	
Quintiles o estratos sociales	Salario mínimo unificado
Q5	>4 smu
Q4	>3 – 4 smu
Q3	>2 – 3 smu
Q2	>1 – 2 smu
Q1	< 394

A partir de la observación directa de la realidad, y teniendo en cuenta la ocupación del suelo, la forma de asociación entre las edificaciones (separación, presencia de jardín y patio) y su altura, la continuidad y regularidad del cierre de la vía (González & Sánchez, 2016) y el uso de la planta baja así como la relación que se establece a ese nivel entre la edificación y el espacio público, ha sido posible identificar cinco zonas morfológicas que se indican en el plano de la figura 8, a cada una de las cuales corresponde una tipología arquitectónica predominante.

### MORFOLOGÍA – TIPOLOGÍA - ESTRATIFICACIÓN SOCIAL



Figura 8. Distribución espacial de los quintiles o estratos sociales y de las tipologías identificadas en la ciudad de Portoviejo. Ubicación de los casos de estudio para la vivienda de interés (Elaboración propia, González Couret y Véliz Párraga, 2019).

Tipo 1: Presente en el centro histórico de la ciudad, compuesta por edificaciones medianeras de varios pisos, con comercios en planta baja y portales corridos que permiten circular por toda el área protegido del sol y la lluvia, en los que habita fundamentalmente la población de los quintiles 2 y 3.

Tipo 2: Se ubica en la zona de transición entre el centro histórico y la periferia, predomina una tipología también medianera, de menor altura (entre 1 y 2 plantas), pero sin servicios en planta baja ni portales corridos, ya que no abunda la actividad comercial. En estos casos casi no hay jardín, pues donde originalmente existió, el espacio ha sido pavimentado y delimitado por rejas, o la planta alta se proyecta sobre él y ha sido edificado. Este tipo es también habitado fundamentalmente por los estratos 2 y 3.

Tipo 3: Se refiere a la vivienda unifamiliar aislada en los repartos periféricos, habitada por los estratos superiores (4 y 5), con cierta influencia de la arquitectura moderna, y con una relativamente alta ocupación del suelo, ya que es común que los espacios de jardín y corredores laterales sean techados en aras de aumentar el espacio construido en detrimento de las condiciones ambientales interiores.

Tipo 4: Este tipo, también habitado por los quintiles 4 y 5 está constituido por las viviendas agrupadas en condominios privados cerrados.

Tipo 5: Se trata en este caso de la vivienda informal periférica de los estratos más bajos (1 y 2), construida con materiales naturales o precarios, que en cierta forma continua la tradición de la arquitectura vernácula que trae la población rural cuando emigra a la ciudad. No obstante, en este caso predomina la cubierta de planchas acanaladas de acero galvanizado en lugar de la tradicional cubierta de cady, material ya escaso y asociado por la población al pasado, atraso y condiciones de miseria (Figura 10). Es en este contexto que generalmente se ubica la vivienda de interés social objeto de estudio.

### 2.2.1. Vivienda popular tradicional

#### Vivienda rural

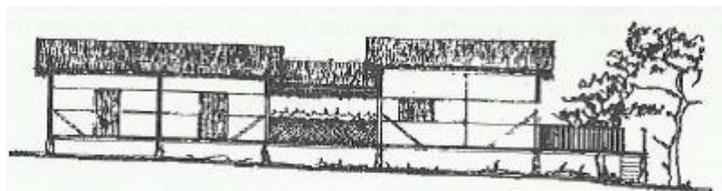
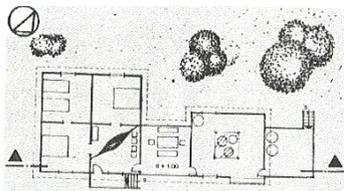


Figura 9: Vivienda de tres espacios sobre pilotes (Camino, 1998)

La vivienda popular tradicional se corresponde en gran medida con la vivienda vernácula, fundamentalmente rural. Según Camino (1998), la tradicional vivienda unifamiliar de tres espacios sobre pilotes se mantiene (Figura 9) prácticamente sin cambios desde la etapa colonial, principalmente en las zonas rurales. Esta vivienda responde perfectamente al modelo recomendado para climas cálidos y húmedos. La cubierta inclinada permite una rápida evacuación de las lluvias y la elevación sobre pilotes evita la afectación por inundaciones y la ascensión del agua por capilaridad. Por otra parte, el empleo de fibras vegetales, tanto en cubierta (cady) como en paredes y pisos (guadua), reduce la transferencia térmica hacia el espacio interior y permite la permeabilidad de la vivienda al viento para garantizar la ventilación cruzada.

También en las zonas rurales se encuentra la casa hacienda, de un mayor estándar, estructurada en tres crujías con el espacio central abierto y los dormitorios a ambos lados (Camino, 1998). Esta también responde al modelo, con cubierta inclinada para la evacuación pluvial, portal y cobertizo de protección solar y el espacio central que permite la ventilación cruzada de la vivienda.

De manera general, la vivienda rural tradicional ha evolucionado, no tanto en cuanto a su forma como a los materiales que emplea. Se mantiene la separación del terreno mediante pilotes generando un espacio en planta baja para múltiples usos, incluida la actividad productiva o comercial como fuente de ingreso de la familia; la cubierta inclinada para favorecer la evacuación pluvial; la permeabilidad mediante la inclusión de “calados” o celosías que permiten la ventilación natural, e incluso, se mantiene en muchos casos el esquema de tres cuerpos.



Figura 10: Vivienda popular tradicional en Portoviejo: levantada sobre pilotes, los tres cuerpos y el “enquinche” (Elaboración propia)

Sin embargo, ya casi no se emplean las fibras vegetales, consideradas por la población como materiales pobres y de poca durabilidad. En las cubiertas, el Cady ha sido sustituido por planchas acanaladas de acero galvanizado que empeoran las condiciones térmicas interiores debido al alto coeficiente global de transferencia térmica, e incluso, en algunos casos hormigón, que resulta aún peor por el efecto de la inercia térmica que contribuye al incremento de la temperatura interior en horas de la noche, y que sin embargo, es la solución más costosa y duradera, y por tanto, preferida por la población como símbolo de estatus social.

En las viviendas de mayor estándar se acostumbraba a revestir las paredes de guadua con enquinche<sup>5</sup>. Aunque en algunos casos se mantiene el empleo de la guadua, esa tradición se ha perdido. No obstante, es posible aun apreciar soluciones de gran creatividad que tratan de sacar partido estético de este material. Aun así, es el ladrillo cerámico el elemento más empleado en las paredes, como complemento de una estructura de esqueleto que en la mayoría de los casos es de hormigón armado.

### **2.2.2. Vivienda de interés social**

Como no existe información publicada sobre programas y proyectos de vivienda de interés social en Portoviejo a lo largo de la historia, y mucho menos de su evolución y resultados, ha sido necesario desarrollar una investigación de campo en toda la ciudad, a partir de la observación, consulta a expertos o protagonistas de las diversas acciones, e incluso a la prensa local histórica, para identificar 6 urbanizaciones de vivienda obrera o vivienda social desarrolladas en diversos momentos, con diferentes tipologías arquitectónicas y urbanas, con vistas a evaluar las soluciones iniciales y su nivel de éxito a partir de la evolución física y social en el tiempo (González D. y Véliz J.F., 2019).

Los proyectos seleccionados como caso de estudio fueron (Ver plano de la Figura 11).

- 1- Los Almendros (1961- 1970).
- 2- Los Bosques (1977-1979).
- 3- Ciudadela Los Tamarindos (1982-1986).
- 4- Los Tamarindos. Segunda Etapa. Fuerzas Armadas (1990).
- 5- Ciudadela Nuevo Portoviejo (1991).
- 6- Los Jazmines (1994.)

Para ello se elaboró una ficha de cada caso de estudio (ver Anexo 3), y la información fue recogida a partir de la guía de observación que aparece en el propio anexo.

La primera etapa de la urbanización Los Almendros fue desarrollada en 1961 para “trabajadores y empleados”, a partir de 40 viviendas pareadas de una planta, de 60 m<sup>2</sup> cada una, construidas con paredes de bloques y cubiertas ligeras de tejas de asbesto cemento (“Eternit”) inclinadas a ambos lados, de manera que la fachada hacia la calle presentaba un perfil quebrado (Figura 11). Las viviendas se ubican en lotes de 8.00 m de frente por 16.00 m de profundidad, en un terreno de 0.69 Ha, para un coeficiente de ocupación del suelo (COS) de 0.35 y una densidad de 233 hab./Ha. Se trataba de “viviendas baratas, por un costo de 40 000 Sucres, a pagar

---

<sup>5</sup> El Enquinche es una materia artesanal que se elabora con lodo, estiércol de vaca, goma de zapote y paja. Estos elementos se mezclaban para formar una masa viscosa y homogénea con la que se “enlucían” las casas de caña.

en cuotas de 280.00 Sucres mensuales, por habitantes que percibían un salario de 1200.00 Sucres por mes (El Diario, 1977) En el tiempo transcurrido, estas viviendas calificadas en su momento como “cajitas de fósforos” (Diario Manabita, 1961), han evolucionado mediante ampliaciones progresivas en forma de portales o espacios cerrados hacia el jardín, los laterales y el fondo, con las correspondientes afectaciones al espacio interior. Aunque la transformación no es homogénea, se aprecia una mejora en los ingresos económicos de la población residente, y existen ejemplos significativos de transformaciones radicales ostentosas e incluso, cambio de funciones.

En la misma urbanización Los Almendros, el Banco Ecuatoriano de la Vivienda construyó en 1970 seis edificios multifamiliares de 4 plantas, con paredes de bloques y entrepisos y cubiertas de hormigón armado, que contemplaban la ubicación de locales comerciales en planta baja. Se trataba de módulos de apartamentos de 50 m<sup>2</sup> pareados y conectados por la circulación vertical, para un total de 36 apartamentos ubicados en 0.5 Ha, para un COS de 0.15 y una densidad poblacional de 288 hab./Ha. Estos edificios fueron siendo abandonados por sus originales habitantes y ofrecidos en alquiler como fuente de ingreso, de manera que se mantuvieron habitados por población de estrato 2. Fueron definitivamente abandonados y posteriormente demolidos como consecuencia del deterioro sufrido durante el sismo de abril de 2016.

La urbanización Los Bosques fue desarrollada entre 1977 – 1979 con diferentes tipologías, y precios para diversos estratos sociales. Inicialmente se construyeron 253 viviendas de 63 m<sup>2</sup> en una planta y en hilera para “población de escasos recursos” (Nieto L. A., 1979), ubicadas en lotes de 11.00 m por 11.00 m, en un área de terreno de 7.41 Ha, para un COS de 0,22 y una densidad de 137 hab./Ha (Figura 26). Es una vivienda de 63 m<sup>2</sup> con una solución espacial de dos crujías y cubierta inclinada a dos aguas, hacia el frente y el fondo, con jardín y patio, conformando hileras, en manzanas largas y estrechas, cuya profundidad equivale a dos lotes, y agrupadas de frente a plazas ortogonales. Ya en esa época, estas viviendas costaban 150 000,00 Sucres, que debían ser abonados en cuotas de 1300,00 Sucres mensuales, para lo cual se requería de un salario mínimo de 3250,00 Sucres por mes. Sin embargo, ya entonces un empleado ganaba 5000,00 Sucres, pero un sub-empleado solo 1000,00 Sucres (Calle, 1977).

Posteriormente se desarrollaron otras 60 viviendas pareadas de una planta y de 75 m<sup>2</sup> para “población de mayores recursos”, en lotes de 9,00 m por 17,00 m, ocupando un terreno de 1,43 Ha, para un COS de 0,32 y una densidad poblacional de 210 hab./Ha. El costo de estas viviendas era de 4200,00 Sucres (Nieto, 1979, 2) En la urbanización también se incluyeron 68 viviendas pareadas de 2 plantas, de 82 m<sup>2</sup> cada una, para “familias más numerosas y de mayores recursos”, en lotes de 9,00m por 13,00 m, ocupando un área de 1,3 Ha, para un COS de 0,22 y una densidad de 314 hab./Ha (Nieto L., 1979, 1). El valor de estas viviendas era superior a 600

000,00 Sucres (Diario Manabita, 1978), a razón de 700 000,00 las de lotes intermedios y 720 000,00 las esquineras, para un costo unitario de más de 7 000,00 Sucres por m<sup>2</sup>, y un incremento de 6 000,00 Sucres mensuales por intereses. Para su adquisición debía pagarse una entrada de 140 000.00 Sucres y pagar mensualidades de 6 000,00 por 20 años (Izurieta, 1979).

### EVOLUCIÓN DE LA VIVIENDA SOCIAL. ESTUDIO DE CASOS

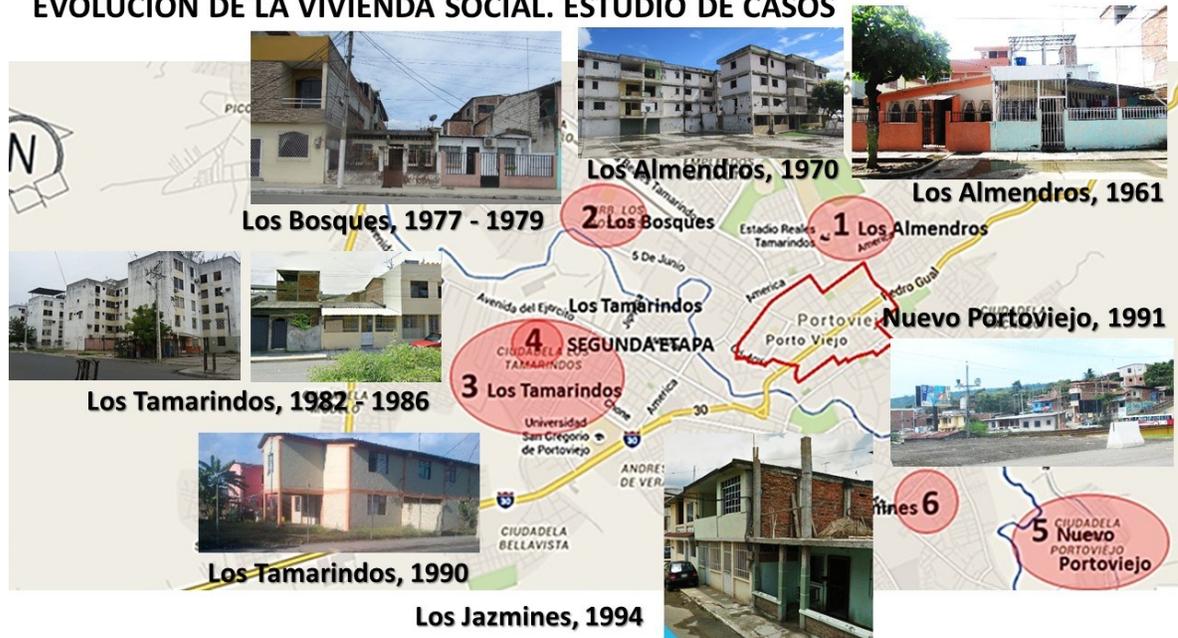


Figura 11.: Vivienda social en Portoviejo. Casos de Estudio (González Couret y Véliz Párraga, 2019)

De manera general, las viviendas de esta urbanización han evolucionado progresivamente hacia una ocupación total del lote y mediante la adición de nuevas plantas. Sin embargo, se aprecia un resultado relativamente homogéneo, tanto desde el punto de vista físico como social. Las transformaciones efectuadas por la población en sus viviendas de forma progresiva afectan el ambiente térmico interior, no sólo por la ocupación total del lote, sino debido a la ampliación del área de ventanas de vidrio y su exposición al sol. Es frecuente la aparición de garajes en planta baja y se aprecia en algunos casos la doble cubierta ligera en la parte superior.

La urbanización Los Tamarindos también fue desarrollada en tres etapas, la última de las cuales ha sido considerada como un caso de estudio independiente. En 1982 se construyeron 1359 “viviendas populares” de 45 m<sup>2</sup> (Salgado, 1986) en hileras similares a las de la primera etapa de Los Bosques, de una planta, dos crujías de profundidad, jardín y patio, con cubierta inclinada a dos aguas hacia delante y hacia atrás, en manzanas con profundidad equivalente a dos lotes, separadas por vías estrechas para la circulación peatonal. Las viviendas se ubicaron en lotes de 6,00 m por 15,00 m. en 11,79 Ha, para un COS de 0,59 y una densidad de 461 hab./Ha

Se trata de una solución con una respuesta aceptable ante las condiciones climáticas, ya que su poca profundidad y altura garantiza la iluminación bilateral y la ventilación cruzada, aun cuando la cubierta

predominante de planchas acanaladas de acero galvanizado y las ventanas de vidrio sin protección favorecen el flujo de calor hacia el espacio interior, pero a su vez, los calados en la parte superior de las ventanas y debajo de la cubierta, mejoran las condiciones térmicas al permitir la evacuación del aire caliente.

Casi en la totalidad de las viviendas, la tipología habitacional ha evolucionado, permitiendo diversas transformaciones operadas por parte de los habitantes, que van desde la ampliación de la vivienda hacia el espacio del frente y el fondo, con lo cual se afecta la original relación con el exterior de los espacios interiores (iluminación, ventilación y visuales), o hacia una segunda planta. El resultado final de las transformaciones realizadas por la población apunta hacia una evolución positiva de la urbanización en cuanto al estándar económico de las viviendas, que puede ser consecuencia de un aumento en el poder adquisitivo de la población original o de su sustitución por habitantes de estratos sociales más altos.

En la misma urbanización Los Tamarindos se construyeron en 1986, 20 edificios de apartamentos de 5 plantas que contenían 300 apartamentos de 55 m<sup>2</sup> cada uno (Diario Manabita, 1989) en un terreno de 2,28 Ha, para un COS de 0,27 y una densidad de 526 hab./Ha. Los edificios multifamiliares, por el contrario, no tuvieron el mismo éxito y aceptación social que la tipología de vivienda uniplanta en hilera que permitió la evolución progresiva. Las viviendas de planta baja fueron parcialmente transformadas en servicios, con elementos añadidos a la volumetría original del edificio; se realizaron transformaciones en las fachadas por sustitución de carpintería, algunas de las cuales muestran un intento de personalización y apropiación como elemento de identidad.

No obstante, en el momento de realizar el trabajo de campo, la mayoría de las viviendas o apartamentos no estaban habitados por sus propietarios, sino en alquiler, lo cual demuestra que sólo se valoran como bien económico, pero no como hogar. Con el sismo de abril de 2016, estos edificios resultaron muy dañados, de manera que están deshabitados en espera de ser demolidos.

La última etapa de Los Tamarindos, desarrollada en 1990, las Fuerzas Armadas construyeron 40 viviendas dúplex pareadas de 100 m<sup>2</sup> con espacio para "car port" y cubierta ligera de planchas acanaladas de acero galvanizado a dos aguas, también inclinada hacia el frente y hacia atrás. La estructura expuesta es de hormigón armado y las paredes de bloque de mortero a vista, con ventanas cuadradas de vidrio en el centro del vano. Las viviendas se ubican en lotes de 7,00 m por 15,00 m en un terreno de 3 Ha, para un COS de 0,29 y una densidad de 317 hab./Ha. Este conjunto se encuentra bien conservado y prácticamente en su estado original, sin transformaciones, ya que las viviendas son propiedad de las Fuerzas Armadas, no de sus habitantes, y hay regulaciones estrictas que no permiten su modificación.

La urbanización “Nuevo Portoviejo”, inaugurada el 3 de julio de 1991, se inició por como una cooperativa de vivienda por el Banco Ecuatoriano de la Vivienda (BEV), con un loteo inicial para 1000 viviendas en lotes de 8,00 m por 15,00 m en un terreno de 3 Ha. A diferencia de los proyectos anteriores, no partía de un proyecto de vivienda que se construía de forma repetida, sino que las familias adquirían los terrenos que habían sido lotificados de forma planificada, y en ellos autoconstruían de forma progresiva sus viviendas, empleando ladrillos en las paredes, en lugar de bloques como en los casos anteriores. Por su origen, la imagen de este asentamiento es más variada e informal que los anteriores, y es habitado por familias de estratos más bajos.

Los Jazmines, desarrollada en 1994, también tuvo como base la tipología habitacional de vivienda de una planta en hilera con jardín y patio y cubierta a dos aguas, inclinada al frente y al fondo, pero en este caso, las calles son más anchas con espacio para estacionamiento, y en ocasiones arboladas. Las viviendas de 60 m<sup>2</sup> se ubican en lotes de 7,00 m por 15,00 m, en un terreno de 2,78 Ha, para un COS de 0,32 y una densidad de 216 hab./Ha. También esta urbanización ha evolucionado mediante la ampliación de las viviendas hacia el espacio exterior de jardín y patio, con las correspondientes afectaciones al ambiente interior y el crecimiento en altura.

En el (Anexo 3) se resumen las principales características de cada caso de estudio. Como resumen del estudio de casos de proyectos de Vivienda de Interés Social desarrollados en Portoviejo desde 1961 hasta la fecha es posible concluir que: (González & Véliz, 2019)

- Predomina la vivienda en hilera de una planta en dos crujiás con jardín y patio, paredes de bloques y cubierta de asbesto cemento a dos aguas hacia el frente y el fondo. En segundo lugar, se presenta la vivienda pareada también de una planta. Sólo en dos casos se emplea el edificio multifamiliar de entre 4 y 5 plantas, que no tiene buena aceptación popular.
- Las dimensiones de los lotes varían entre 6,00 m y 9,00 m de frente, y entre 13,00 m y 15,00 m de fondo, predominando 15,00 m de profundidad
- La ocupación del suelo es generalmente baja en los proyectos originales, entre 0,15 y 0,32, con excepción de la primera etapa de Los Tamarindos, que alcanza 0,53. Sin embargo, la ocupación del suelo se incrementa con la evolución progresiva de las viviendas que se amplían hacia el espacio exterior, afectando las condiciones ambientales en el espacio interior.
- Las densidades poblacionales generadas son también bajas, entre 137 y 317 hab./Ha, con excepción de las dos primeras etapas de Los Tamarindos, que alcanzan 461 hab./Ha con las viviendas en hilera y 526 hab./Ha en los edificios multifamiliares.
- La superficie construida por vivienda oscila entre 45 y 63 m<sup>2</sup>. No obstante para estratos de mayores recursos llegan a 75 m<sup>2</sup> y 85 m<sup>2</sup>, y 100 m<sup>2</sup> en el caso del dúplex de las Fuerzas Armadas.

- En la mayoría de los casos, las soluciones constructivas fueron de paredes de bloques y cubierta de asbesto cemento, con excepción de los edificios multifamiliares con cubiertas y entepiso de hormigón armado. No obstante, en los dos últimos casos las paredes fueron ejecutadas con ladrillos.
- Las primeras viviendas del año 1961 iban dirigidas a “empleados y trabajadores” (Zoldán, 1961), sin embargo, ya en los años 70’s el destinatario se identificaba como “población de escasos recursos”, de manera que los marginados no eran reconocidos en los planes de gobierno y no eran sujetos de crédito (Nieto L. A., 1979). En los años 80’s ya se habla de “viviendas populares” o “techo para estratos populares” (Loor, 1981), y en los años 90’s aparecen los loteos y las cooperativas de autoconstrucción con vivienda progresiva. Esto permite apreciar claramente la evolución de la vivienda social a la vivienda de interés social y popular que se ha producido en la región en el último medio siglo.
- Sólo en las dos primeras décadas se experimenta un crecimiento acelerado de los precios a la vez que empeora el poder adquisitivo de los estratos de menores recursos. El costo de la “vivienda barata” se cuadruplica en 15 años (de 1961 a 1977).
- Sólo en un caso de los años 70’s puede apreciarse la marcada intención de mezclar diferentes estratos sociales en una misma urbanización.
- De manera general se produce una evolución positiva de las viviendas como resultado del mejoramiento progresivo por parte de sus habitantes. La imagen de los conjuntos se transforma en función del aumento del poder adquisitivo de los habitantes y los estratos de más bajos recursos van siendo desplazados a la periferia informal. De esto se exceptúan los edificios multifamiliares, que terminaron desapareciendo definitivamente después del sismo de 2016.

### 2.2.3. Vivienda de interés social promovida por MIDUVI

En el Ecuador la vivienda es un derecho garantizado en la Constitución política del Estado de 2008, que en sus artículos 14 y 15 hace hincapié en el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, “sumak kawsay”<sup>6</sup>. Así mismo en el Art. 30 manifiesta que las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica. Sin embargo, el déficit habitacional pasó de 850 000 en el año 2000 a 1 200 000 unidades de vivienda en el 2010, de las cuales el 80% corresponden a personas de escasos recursos económicos y por ende, es el sector más afectado de una población de aproximadamente 15 000 000 de habitantes (INEC, 2010).

---

<sup>6</sup>El concepto del “buen vivir” toma su terminología “sumak kawsay” de la cosmovisión ancestral quechua de la vida. En su significado quechua original, *sumak* hace referencia a la realización ideal y hermosa del planeta, mientras que *kawsay* significa “vida”, una vida digna, en plenitud. El “sumak kawsay” ancestral considera a las personas como un elemento de la *Pachamama* o Madre Tierra (madre mundo). Así, a diferencia de otros paradigmas, el *buen vivir* moderno, inspirado en la tradición indígena, buscaría el equilibrio con la naturaleza en la satisfacción de las necesidades “tomar solo lo necesario” con vocación para perdurar, sobre el mero crecimiento económico.

Los planes sociales de vivienda a lo largo de la historia del Ecuador han sido emprendidos por instituciones públicas como el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), la Junta Nacional de Vivienda (JNV), el Banco Ecuatoriano de la Vivienda (BEV) y el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda que desde el año 1999 inició un sistema de incentivos habitacionales y programas de vivienda, los cuales han ido evolucionando con los cambios de gobiernos. La vivienda social en el Ecuador actualmente es regulada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y es destinada a hogares que no pueden acceder a una vivienda por créditos hipotecarios o recursos propios.

Una parte de la población ocupada del país lo hace de manera informal (44,1%), (INEC, 2010) lo cual influye en la construcción de viviendas, ya que limita el acceso de la población a créditos o financiamientos, ya sea del sector público a través del Banco del Instituto de Seguridad Social (BIESS), o del sector privado mediante bancos y cooperativas, entre otras corporaciones cuyos beneficios van dirigidos a la clase media-alta. El subsidio que otorga el Estado a través del MIDUVI, entregado por una sola vez, abarca el sector urbano y rural con un valor para vivienda nueva de \$ 5000 a \$3960 y de \$ 1500 para mejoramiento de vivienda.

La población beneficiada es la que está contemplada entre los quintiles 1 al 3 con un rango de ingresos desde inferior a un salario mínimo (\$340) hasta tres salarios mínimos unificados. Además, debe poseer un terreno propio, dar un aporte económico (material o mano de obra) en función del quintil en el que esté clasificado, así como cumplir otros requisitos de orden personal. De acuerdo con los datos del Censo poblacional del 2010, el 74 % de la población ecuatoriana habita en zonas urbanas (INEC, 2010), donde se concentra, por lo tanto, la mayor demanda de vivienda. Actualmente (2019) el salario mínimo unificado es de \$394 (El Telégrafo, 2019).

Existen diversos incentivos para la construcción de viviendas, entre ellos, el Bono inmobiliario o “adquisición de vivienda”; el Bono para construcción de vivienda en terreno propio; El Bono para mejoramiento de vivienda; el Bono de titulación; el Bono de emergencia, y el Bono Manuela Espejo para personas con discapacidad.

En Portoviejo sucede lo mismo que en el resto del país, y existe un déficit de 18 mil viviendas, según información disponible en el Plan de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial (PDOT), sobre la base de una proyección del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). No obstante, de acuerdo con el último censo, el déficit al 2010 era de aproximadamente 22 mil viviendas, considerando que hay cerca de 10 mil familias que viven en casas prestadas o arrendadas.

Mediante su política de vivienda social el Estado ha tratado de cubrir la demanda, pero ha enfocado la calidad de la vivienda desde una visión económica estrecha al distribuir pocos recursos entre muchas personas y

construir viviendas de bajo costo sin considerar la reducción de la calidad de vida de quienes las habitan. Se trata de construcciones mínimas estandarizadas que no tienen en cuenta el número de miembros de la familia, con pobre calidad de diseño y escasa ventilación (indispensable para la salud y el bienestar), construidas con materiales de alto coeficiente global de transferencia térmica, lo cual resulta muy negativo en un clima cálido-húmedo como el de Portoviejo.

La mayoría de los programas desarrollados por MIDUVI han tomado como base dos proyectos tipos, repetidos, fundamentalmente en áreas rurales, y áreas urbanas periféricas dispersas. El primer prototipo consistía en una vivienda de 42 m<sup>2</sup>, de planta cuadrada en dos crujías, con dos habitaciones un baño y un espacio integrado de sala – comedor – cocina, con cubierta ligera de planchas acanaladas de acero galvanizado a dos aguas, al frente y al fondo, y ventanas cuadradas de vidrio de corredera, ubicadas solo en las paredes de frente y fondo, a pesar de que no se trataba de soluciones medianeras o adosadas. Las condiciones térmicas interiores se agravan por la ausencia de aleros o portales (Figura 12).

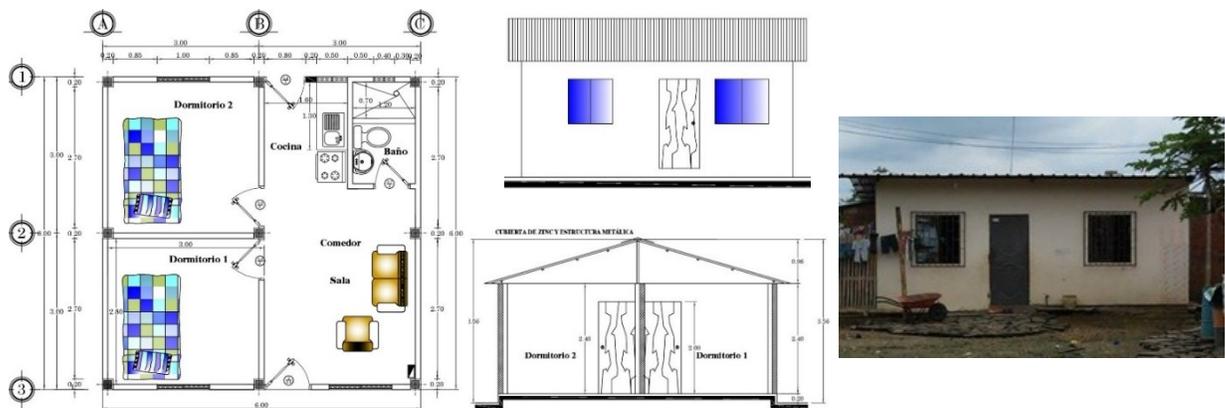


Figura 12: Proyecto inicial de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI (Foto y elaboración del autor).

Este modelo fue posteriormente sustituido por otro que intentaba dignificar la imagen de la vivienda, transformando la fachada y la cubierta a una sola agua, pero sin resolver los problemas ambientales anteriores, ya que se mantiene la cubierta ligera de alto coeficiente global de transferencia térmica, y tanto las paredes exteriores como las ventanas de vidrio de corredera quedan expuestas al sol y la lluvia (Figura 13).

A diferencia del modelo arquitectónico inicial predominante en los casos de urbanizaciones de VIS precedentes, en esta ocasión los calados o celosías que favorecían la ventilación y el refrescamiento estructural han sido sustituidos por bloques de vidrio que sólo benefician la iluminación natural interior. Esta es la vivienda más frecuentemente construida por MIDUVI en los últimos años, y la que ha sido tomada como referencia para proponer soluciones de diseño y constructivas que contribuyan a mejorar el ambiente térmico interior.

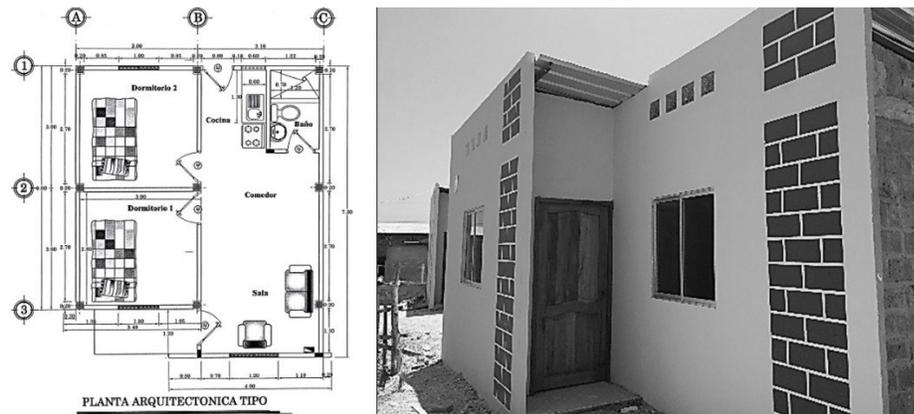


Figura 13: Proyecto de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI. Variante 2 tomada como objeto de estudio. (Foto y elaboración del autor, González Couret y Véliz Párraga, 2019).

No obstante, MIDUVI ha desarrollado recientemente en Portoviejo dos urbanizaciones de vivienda social con diferente carácter, en las que se han empleado varias tipologías arquitectónicas, razón por la cual, también se han incluido como casos de estudio en la presente investigación: Los Cerezos (2000), Las Orquídeas (2005) y Picoazá (2008).

Los Cerezos se inició en 2000 a partir del modelo inicial de vivienda social de MIDUVI y ha evolucionado progresivamente de forma similar a los casos anteriores de VIS examinados, a partir del crecimiento horizontal y vertical, aunque por tratarse de un ejemplo más reciente, y periférico, aún no ha alcanzado el grado de consolidación de los precedentes, sino que mantiene un carácter esencial de asentamiento informal, a pesar de que algunas viviendas reflejan ya una evolución en el estrato económico de sus habitantes (Figura 14).

Las Orquídeas se desarrolló en (2005) a partir de una urbanización lotificada, con viviendas unifamiliares en hilera de una planta (Figura 14), pero a diferencia de los casos anteriores, la cubierta es nervada de hormigón armado con moldes metálicos. A pesar del relativamente poco tiempo transcurrido desde su ejecución, en esta urbanización también se ha producido una evolución de las viviendas originales a partir de su ampliación progresiva, que ya hace en ocasiones irreconocible el modelo original (Figura 14).



LOS CEREZOS, 2000

LAS ORQUÍDEAS 2008

Figura 14: Urbanizaciones MIDUVI: Los Cerezos (2000) y Las Orquídeas (2008) (González Couret y Véliz Párraga, 2019)

La Urbanización María Asunción de Picoazá fue desarrollada en 2008 para alojar a las víctimas de un desastre natural, e incluyó tres tipologías arquitectónicas diferentes (Figura 15).

1. Vivienda adosada o pareada en hilera de una planta con portal hacia dentro del volumen (Figura 15), cubierta ligera a un agua hacia el patio de fondo y pretil, con ventanas cuadradas de corredera de vidrio hacia el frente y el fondo. El portal delantero comienza a cerrarse, primero con rejas, y el patio de fondo se techa, con lo cual igualmente, empeoran las condiciones ambientales interiores.
2. Vivienda dúplex pareada o adosada<sup>7</sup> en hilera, igualmente con portal hacia el interior del volumen, cubierta ligera con pretil o frontón<sup>8</sup> a un agua hacia el patio de fondo y ventanas cuadradas de vidrio de corredera en las paredes del frente y el fondo, éstas últimas de bloques de mortero a vista sin terminación. Igualmente, ya se aprecian las transformaciones mediante el cierre de los portales, la apropiación del espacio de jardín frontal, la ocupación del patio de fondo mediante nuevas ampliaciones.
3. Vivienda (Virgen de Guadalupe) en hilera, elevada sobre pilotes, con cubierta ligera a un agua, pero esta vez inclinada hacia el frente, con un pequeño alero, pero se mantiene la ventana cuadrada de vidrio de corredera. Ya se aprecian las transformaciones realizadas por la población, mediante el cierre del espacio abierto de la planta baja, la apropiación privada del espacio exterior común, la ampliación de la vivienda hacia el fondo, y verticalmente hacia arriba.

<sup>7</sup> Adosada, viviendas unidas entre sí, por una sola pared.

<sup>8</sup> Frontón o Pretil, elemento vertical que oculta la cubierta.



Figura 15: Urbanización María Asunción de Picoazá (2008) (González Couret y Véliz Párraga, 2019)

Alrededor de esta nueva urbanización formal planificada con diferentes soluciones tipológicas, ya ha ido creciendo un asentamiento informal, y además ya está en ejecución una nueva etapa por parte de MIDUVI, llamadas “Picoazá 3: Viviendas del Buen Vivir”.

Después del sismo de abril de 2016, MIDUVI ha desarrollado un nuevo prototipo de vivienda de 39 m<sup>2</sup>, ha sido diseñado por una empresa privada denominada NovoHabit, para el Programa de Reconstrucción Post-Sismo, muy similar a los modelos anteriores en cuanto a la solución espacial. Se mantiene la cubierta ligera a un agua hacia atrás, y la fachada con pretil, que varía ligeramente, al quedar definido un pequeño portal de acceso y un alero de protección a la ventana. La principal diferencia radica en el cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente y regulaciones municipales locales, ya que aún no se cuenta con una norma de sismo en el país (Figura 16).

### 2.3. Ambiente térmico en la vivienda popular y de interés social en Portoviejo

A partir de la decisión de tomar como objeto de estudio los prototipos de vivienda individual aislada que usualmente construye MIDUVI, tanto en zonas rurales como urbanas periféricas, se identificaron las zonas de la ciudad de Portoviejo donde más cantidad de estas viviendas han sido construidas durante los últimos años (Cedeño, 2015) para un nuevo trabajo de campo que permita evaluar el ambiente interior en viviendas

seleccionadas en función de las variables objeto de estudio de la solución constructiva y de diseño (Véliz y González, 2019).

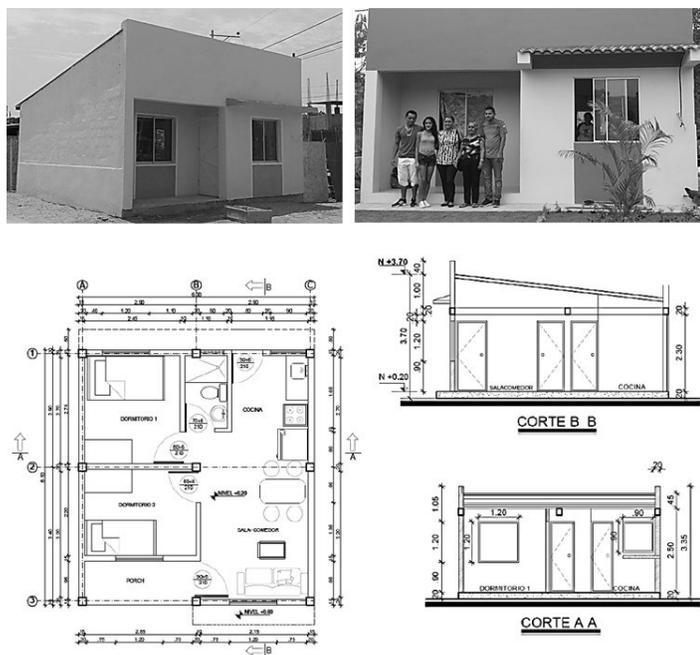


Figura 16: Nuevo prototipo de Vivienda de Interés Social desarrollado por MIDUVI después del sismo de abril 2016 (IDEAL ALAMBREC. Novo Habit-Ingeniería y Desarrollo) (González Couret y Véliz Párraga, 2019)

Tabla 2.: Viviendas construidas por MIDUVI por sectores en la ciudad de Portoviejo.

VIVIENDAS URBANAS CONSTRUIDAS POR MIDUVI EN PORTOVIEJO					
AÑO	SECTOR	Nº VIVIENDAS CONTRATADAS	BONOS MIDUVI USD	APORTES BENEFICIARIOS USD	MONTO DEL CONTRATO USD
2013	EL FLORÓN 5,6,7	149	974.400,00	102.370,00	1.076.770,00
2013	LOS CEREZOS	45	302.400,00	31.770,00	334.170,00
2013	COLON, LAS ORQUIDEAS	105	714.560,00	75.330,00	789.890,00
2013	SAN JORGE, MARIA ASUNCIÓN	85	571.200,00	60.010,00	631.210,00
2014	FLORON	126	239.556,68	29.140,00	268.696,68
2014	LAS ORQUIDEAS, LOS CEREZOS	160	248.122,26	29.652,87	277.775,13
2014	SAN PABLO	27	162.000,00	19.062,00	181.062,00
2014	ANDRES DE VERA	15	90.000,00	10.590,00	100.590,00
2014	VIRGEN DE GUADALUPE	34	200.000,00	23.598,00	223.598,00
2014	MARÍA ASUNCIÓN, SAN JORGE	56	156.000,00	18.356,00	174.356,00

Fuente: Cedeño, Gregorio. (Entrevista y entrega de información por parte Director provincial subrogante del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). 29 junio 2015)

Las urbanizaciones seleccionadas fueron (Figura 17):

- 1- Colón
- 2- El Florón
- 3- Las Orquídeas

- 4- Ciudadela San Jorge (Picoazá)
- 5- María Asunción (Picoazá)

### AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR EN LA VIVIENDA



Figura 17: Sectores urbanos seleccionados para evaluar el ambiente térmico interior de la Vivienda de Interés Social que construye MIDUVI. (Elaboración propia).

Se trata en todos los casos de urbanizaciones periféricas de estratos bajos, con escasa infraestructura, donde MIDUVI ha construido viviendas en terrenos propiedad de las familias beneficiadas según el programa del “Bono para construcción de vivienda en terreno propio”, que equivale a 6 000,00 USD para la compra de viviendas por un precio de 30 000,00 USD, por familias con ingresos mínimos de 2 salarios básicos<sup>9</sup>.

#### 2.3.1. Desarrollo de la investigación exploratoria

En cada caso se ha seleccionado una muestra intencional que incluye tanto viviendas construidas por MIDUVI como otras autoconstruidas por la población, que fueran representativas de diversas condiciones en las variables objeto de estudio, con vistas a comparar los resultados de las mediciones del ambiente térmico interior. Las variables a partir de las cuales fueron seleccionadas las viviendas, por su posible influencia en la temperatura del aire interior fueron:

- **Contexto:** Se caracteriza el contexto inmediato que rodea a la vivienda por su posible influencia, fundamentalmente, en cuanto a sombra arrojada, ya que el albedo era muy similar en todos los casos, al tratarse de áreas de terreno no pavimentadas. Las opciones consideradas en esta variable fueron, si se trataba de una vivienda aislada (Ai), o adosada o pareada con otra (Ad), si existían otras viviendas próximas a una distancia inferior a 10 m (VP) y si había presencia cercana de árboles que pudieran arrojarle sombra.

<sup>9</sup> El salario básico equivale a 394,00 USD.

Tabla 3: Caracterización de la muestra en función de las variables objeto de estudio. (Elaboración propia)

## AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR EN LA VIVIENDA



SECTOR	TOTAL VIVIENDAS	TIPO		NÚMERO DE PISOS		ORIENTACIÓN FACHADA				MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			CONTEXTO					
		TRADICIONAL	MIDUVI	UNA PLANTA	DOS PLANTAS	NORTE	ESTE	SUR	OESTE	CUBIERTA			PAREDES					
										HORMIGÓN ARMADO	ZINC	DURATECHO	BLOQUES	LADRILLOS	CAÑA PICADA	ASLADA	ADOSADA	VIVIENDA PRÓXIMA
El Florón	20	8	12	18	2	11	2	6	1	0	17	3	6	13	1	20	0	20
Las Orquideas	20	0	20	19	1	7	2	8	3	6	13	1	10	9	1	16	4	9
Colón	20	8	12	18	2	12	2	5	1	0	16	4	6	13	1	19	1	19
San Jorge Picoazá	20	2	18	19	1	10	1	6	3	5	14	1	9	9	2	15	5	7
María Asunción Picoazá	12	0	12	8	4	2	4	2	4	0	12	0	12	0	0	0	12	12
<b>TOTAL</b>	<b>92</b>	<b>18</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>10</b>	<b>42</b>	<b>11</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>72</b>	<b>9</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>5</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>67</b>

- **Número de pisos** (uno o dos).
- **Orientación de la fachada**, con lo cual quedaba definida la de las otras tres paredes exteriores de cierre, para lo cual se consideraron sólo las cuatro orientaciones principales (N, S, E y O).
- **Materiales de construcción:**
  - En Cubierta. Resultaron ser de cuatro tipos: hormigón, zinc (planchas acanaladas de acero galvanizado), Duratecho<sup>10</sup>.
  - En paredes. Los materiales encontrados fueron ladrillo, bloque de mortero y caña picada<sup>11</sup>.

La mayoría de las 92 viviendas estudiadas corresponden a proyectos de MIDUVI, que son los que predominan en los sectores seleccionados. No obstante, en la muestra se incluyeron 18 viviendas populares autoconstruidas con diferentes materiales, con vistas a comparar los resultados. También abundan más en la muestra las soluciones de una planta, aisladas y la cubierta de zinc, como es característico en esos sectores. En el caso de María Asunción de Picoazá, aunque se han codificado como viviendas adosadas, se trata de soluciones en hilera, todas de MIDUVI. En cuanto a los materiales de

<sup>10</sup> Duratecho es una cubierta de acero de 0,25 y 0,30 mm de espesor, revestida con una aleación de aluminio y zinc que le garantiza un techo resistente e impermeable y durable.

<sup>11</sup> Caña Guadua, picada es un material tradicionalmente empleado en las paredes de la vivienda vernácula y para forrar los paneles estructurales de madera. Son tiras vegetales, resultantes de abrir el tronco de la planta de bambú en forma de una esterilla plana, permeable al viento y a la luz.

construcción empleados en paredes, el bloque y el ladrillo se encuentran en similar proporción, y se incluyeron algunos ejemplos de vivienda popular de caña picada, para comparar los resultados.



Figura 18: Equipo de medición ubicado en el interior y exterior de la vivienda. (Elaboración propia)

En las viviendas seleccionadas se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa mediante el empleo de equipos Kestrel 4200 (Pocket Air Flow Tracker), ubicados en el interior de la vivienda (sala) en un trípode a la altura de 1,50 m programados para medir a intervalos de 60 minutos, es decir cada una hora. En todos los casos siempre se realizaron mediciones de referencia en un punto exterior cercano a menos de 10 m, empleando el mismo tipo de equipo ubicado dentro de una pequeña cabina meteorológica<sup>12</sup> y bajo un árbol, a una altura de 2,00 m, para medir la temperatura del aire a la sombra, sin la influencia de otras fuentes de calor radiante. Con excepción del Sector María Asunción de Picoazá, en que las mediciones en cada vivienda duraron tres días, el resto de los casos fueron medidos durante 24 horas continuas.

De acuerdo con la cantidad de equipos de medición disponibles (dos al inicio de la investigación y cuatro en la etapa final) y la cercanía de las viviendas, se agruparon 3 viviendas por cada punto de referencia exterior, por lo cual, para comparar los resultados de viviendas estudiadas en diferentes momentos y con diversos puntos de referencia, se han tenido en cuenta las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior. Estas mediciones, incluso las tomadas en el exterior, también fueron comparadas con los resultados de las

<sup>12</sup> Se trata de una cabina de madera de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m, de color blanco, aislada y ventilada, colocada a la sombra de un árbol, para medir la temperatura del aire exterior a la sombra, sin influencia de otras fuentes de calor radiante.

mediciones simultáneas, facilitados por la Estación Meteorológica situada en el Jardín Botánico de la UTM, con vistas a valorar la posible influencia del contexto urbano en el microclima local.

Se elaboró una ficha de cada vivienda estudiada en cada una de las urbanizaciones seleccionadas (ver anexo 4) y en la tabla 3 se resumen las características de la muestra por sector en función de las variables objeto de estudio para este experimento. Para facilitar el procesamiento e interpretación de los resultados, las viviendas fueron identificadas con un código que indica el número de pisos (1 o 2), la orientación de la fachada (N, E, S, O), el material de la cubierta (H, Z o D para hormigón armado, zinc y duratecho respectivamente), el material de las paredes (B, L o C, para bloques, ladrillos o caña picada respectivamente), así como la tipología y el contexto (Ai si es vivienda aislada, Ad si es adosada o en hilera, Vp cuando existen otras viviendas próximas a menos de 10m de distancia, V cuando hay árboles cercanos). Además, se realizaron entrevistas a los habitantes, en las cuales se preguntaba cómo percibían el ambiente térmico de su vivienda.

Como las mediciones fueron realizadas en diferentes momentos, la comparación de los resultados se ha hecho sobre la base de la diferencia de la temperatura interior con respecto al exterior de referencia. Para ello se han observado los resultados en viviendas donde sólo una de las variables difiere, con vistas a valorar su influencia en el resultado. Por otra parte, la comparación de los valores de temperatura y humedad relativa del aire medidos en los espacios exteriores de referencia, con los registrados de forma simultánea en la estación meteorológica ha permitido comprobar el efecto del fenómeno de la isla de calor urbana en los diferentes sectores estudiados.

### **2.3.2. Resultados. Influencia de las variables de diseño**

Como era de esperar, en todos los sectores estudiados, la temperatura del aire medida en los puntos exteriores de referencia es superior a la registrada de forma simultánea en la estación meteorológica, a la vez que las humedades relativas se comportan de forma inversa, es decir, que sus valores son inferiores en las diferentes zonas urbanas.

Las mayores temperaturas y las menores humedades relativas se registran en la urbanización Las Orquídeas, ubicada en una zona más compacta y consolidada de la ciudad con respecto a las demás (figura 19), con diferencias de hasta 4°C en horas de la noche y madrugada. En segundo lugar, en cuanto al efecto de calentamiento se encuentra la urbanización de El Florón, con carácter informal en ladera, pero relativamente consolidada y compacta, con temperaturas superiores en más de 1,5°C durante todo el día, pero especialmente en el horario nocturno.

Resulta significativo que, de los tres días medidos en Colón, en el primero la temperatura registrada en el exterior al mediodía es inferior a la de la estación meteorológica, mientras que, en los días restantes, sucede lo contrario. También llama la atención que en ese momento la temperatura exterior puede llegar a ser hasta 4°C superior a la estación meteorológica, mientras que durante la noche y madrugada es bastante similar.

Las menores diferencias de temperatura entre el exterior y la estación meteorológica se dan en las dos urbanizaciones de Picoazá, localizadas hacia la periferia de la ciudad, con los mayores valores en la mañana y hasta el mediodía y muy poca diferencia (inferior a 1°C) en el horario nocturno (figura 19). En María Asunción de Picoazá, las temperaturas exteriores medidas tienen un comportamiento muy similar al de la estación meteorológica.

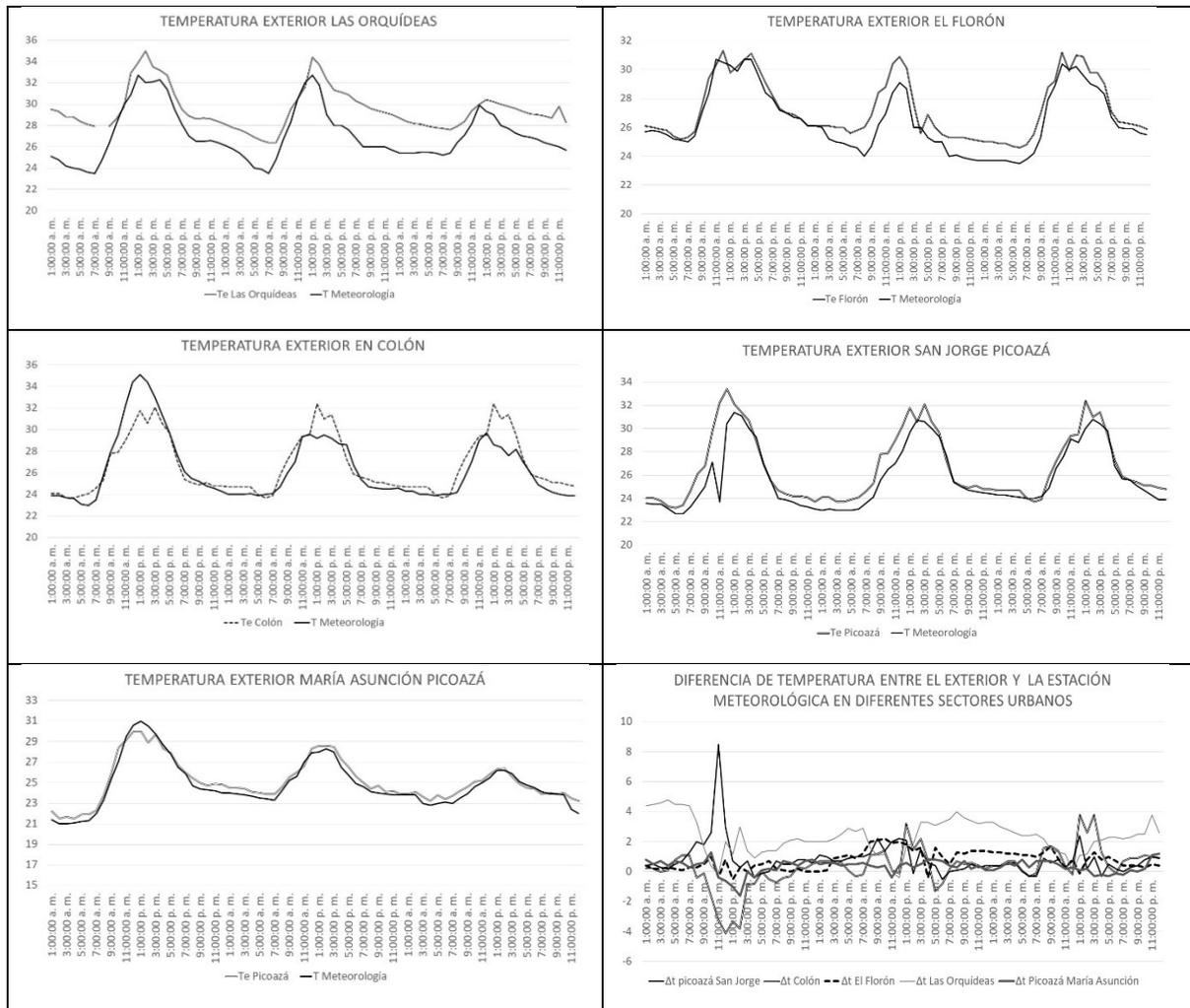


Figura 19: Temperaturas exteriores medidas en las urbanizaciones objeto de estudio en relación con los datos de la estación meteorológica local. (Elaboración propia)

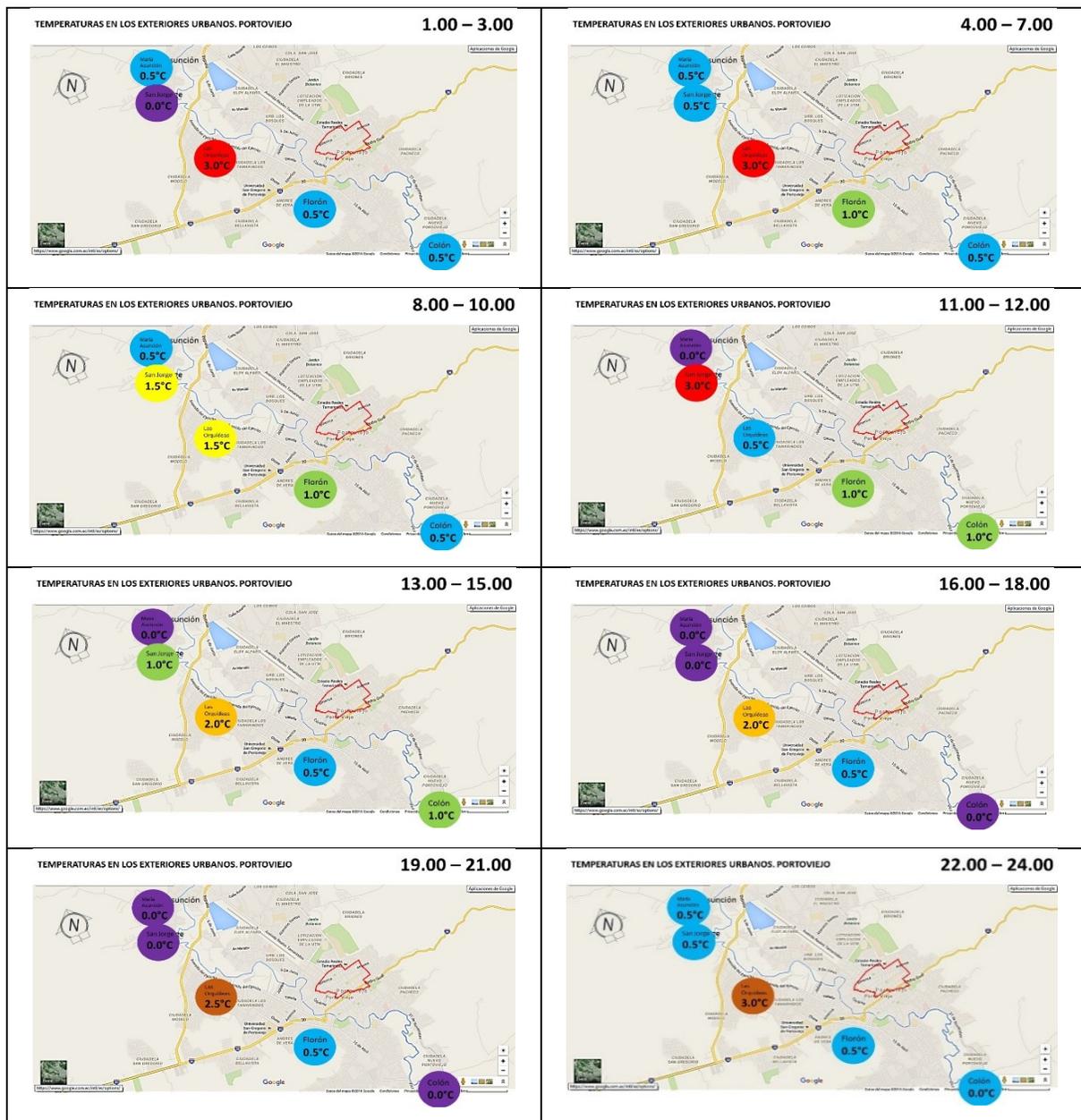


Figura 20: Valores de  $\Delta t$  promedio para cada intervalo horario con comportamiento similar durante los tres días de medición, que expresan su variación como resultado del efecto de la isla de calor urbana (Elaboración propia).

A partir de la observación de las diferencias entre los valores de temperatura medidos en los espacios exteriores de referencia en cada uno de los sectores urbanos estudiados, con respecto a las temperaturas registradas de forma simultánea en la estación meteorológica, se identificaron los intervalos horarios en los cuales dichas diferencias mantenían un comportamiento similar durante los tres días de medición, y se promediaron los valores del  $\Delta t$  para cada intervalo, con vistas a caracterizar su variación como resultado del efecto de la isla de

calor urbana, que aún no ha sido estudiada en la ciudad de Portoviejo. La graficación de esos valores se resume en la Figura 20.

Como puede apreciarse, las urbanizaciones periféricas en Colón y Picoazá presentan las condiciones más favorables, mientras que el efecto de la isla de calor urbana, que se va desplazando en el tiempo, se hace sentir más en las zonas con mayor densidad de población, como las Orquídeas y El Florón (Véliz & González, 2019).

Rectificando en la carta bioclimática de Givoni los verdaderos valores máximos y mínimos de la temperatura en las diferentes zonas estudiadas, se observa un desplazamiento en horas de la madrugada hacia mayores valores de humedad relativa, y hacia más altas temperaturas con menores humedades relativas al mediodía, en comparación con el gráfico que había sido elaborado a partir de las medias máximas y mínimas mensuales (Figura 21).

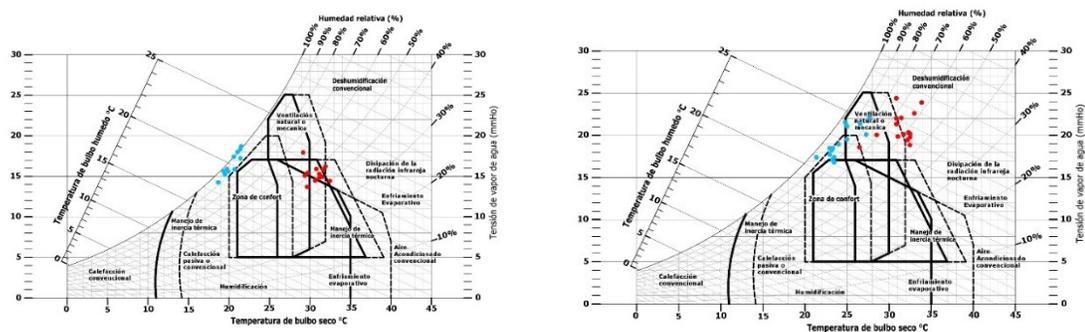


Figura 21: Comparación en la carta bioclimática de Givoni de la combinación de los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa del aire en la estación meteorológica y en los exteriores urbanos medidos (Véliz & González, 2019).

Así, las condiciones nocturnas se encuentran mayormente dentro de la zona de confort o de aquella donde el bienestar puede obtenerse mediante ventilación natural o mecánica, mientras que durante el día se hace aún más difícil el logro del confort incluso mediante ventilación en zonas urbanas. Esto refuerza la necesidad de reducir el máximo la transferencia y la inercia térmica de la envolvente.

### Influencia del contexto y la tipología en la temperatura del aire interior.

En el gráfico de la izquierda de la (Figura 22) se compara la diferencia de la temperatura interior con respecto al exterior de referencia en viviendas de una planta con la fachada orientada al norte, cubierta de zinc y paredes de ladrillo, con diferente tipología y contexto. Llama la atención que las dos viviendas que se encuentran cercanas a un árbol, con independencia de que una es aislada y otra pareada, presentan condiciones térmicas muy similares, que son las más favorables durante la noche, que no es la situación más crítica en el clima de Portoviejo, y las peores durante el día, ya que la temperatura interior llega a ser superior a la exterior en 4°C a las 3,00pm. En ambos casos se trata de viviendas construidas por MIDUVI.

Las otras dos viviendas aisladas presentan también un comportamiento muy similar, con independencia de que sólo una de ellas tiene viviendas próximas. Ambas mantienen todo el tiempo una temperatura interior superior a la exterior en menos de un grado, y se trata de viviendas populares autoconstruidas. La vivienda adosada corresponde al proyecto lineal de Picoazá, que también resulta favorable, teniendo en cuenta que mantienen una temperatura superior a la exterior en menos de un grado, e incluso a las 11,00 am llega a ser inferior.

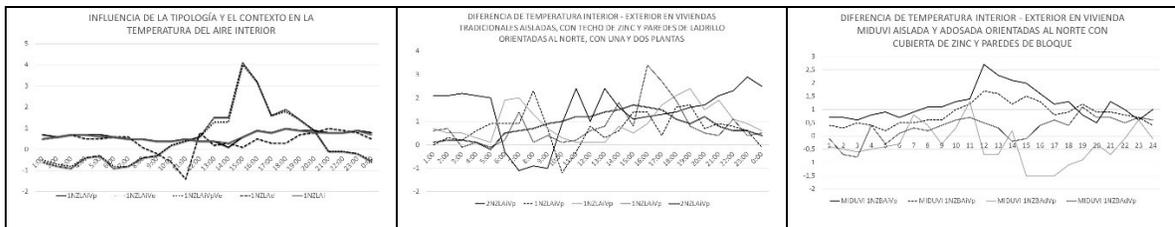


Figura 22: Diferencia de temperatura ( $t_i - t_e$ ) en viviendas con diferente tipología y contexto, con diferente número de plantas, así como pareadas y adosadas

La comparación de los resultados de la temperatura del aire interior en viviendas de una y dos plantas pretende precisar la diferencia entre una cubierta expuesta y una vivienda en planta baja cuya cubierta no recibe radiación solar. Sin embargo, la comparación tuvo que ser hecha en viviendas tradicionales, ya que todas las viviendas MIDUVI aisladas son de una sola planta. Es por ello que los resultados no resultan según lo esperado. Es decir, no es evidente una menor temperatura interior en la planta baja de las viviendas biplantas, ya que se trata de proyectos diferentes donde intervienen otras variables (Figura 22, medio). Sin embargo, sí se ha podido comprobar las ventajas de la tipología de vivienda en hilera en María Asunción de Picoazá, con respecto a viviendas aisladas con similar solución constructiva y orientación, como puede apreciarse en la (Figura 22) (derecha).

### Influencia de la orientación

Para estimar la influencia de la orientación en la temperatura del aire interior, se han comparado los resultados medidos en viviendas MIDUVI aisladas de una planta con cubierta de zinc y paredes de bloque, con la fachada hacia cada una de las cuatro orientaciones principales. Como que las mediciones fueron realizadas en distintos momentos, la comparación se hace a partir de los valores de la diferencia entre la temperatura interior y la exterior de referencia en cada caso.

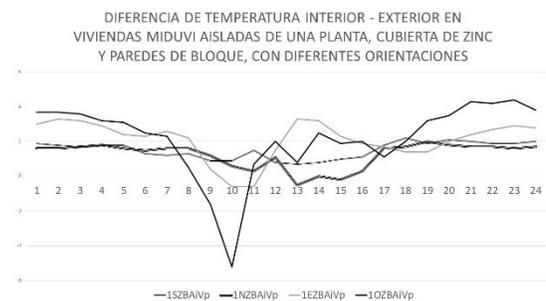


Figura 23: Temperatura del aire interior en viviendas aisladas de una planta con cubierta de zinc y paredes de ladrillo, en diferentes orientaciones. (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 23, no existen grandes diferencias entre las orientaciones norte y sur a consecuencia de la baja latitud, y tampoco son significativas con respecto al este. Sin embargo, la orientación oeste genera una menor temperatura interior durante la mañana, pero más elevada en el horario nocturno.

### Influencia del material de construcción de la pared

Para evaluar la influencia del material de construcción de la pared en la diferencia entre la temperatura del aire en el interior de la vivienda y el exterior de referencia, se tomaron tres de los casos medidos, de soluciones aisladas próximas a otras viviendas, con la fachada orientada al norte, cubierta de duratecho y paredes de bloque, ladrillo y caña picada. A pesar de que según las estrategias de Mahoney resulta conveniente el empleo de paredes pesadas, la mejor solución resulta ser la de cady, con una temperatura interior superior a la exterior en sólo 1°C durante la noche, y en segundo lugar, la de bloque, donde la diferencia puede llegar hasta casi 2°C. El peor comportamiento corresponde al ladrillo, que mantiene la temperatura interior superior a la exterior en 1°C durante toda la tarde, y más de 2°C en la noche. En los tres casos la temperatura interior es ligeramente inferior a la exterior en horas cercanas al mediodía (Figura 24).

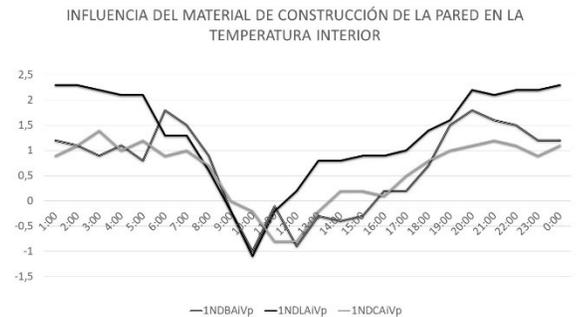


Figura 1. 1:

Figura 24: Temperatura del aire interior en viviendas aisladas de una planta orientadas al norte, con cubierta de zinc y diferentes materiales de pared. (Elaboración propia).

### Influencia del material de construcción de la cubierta

Para evaluar la influencia del material de construcción de la cubierta en la temperatura del aire interior, se tomaron tres de las viviendas estudiadas, adosadas, con la fachada orientada al norte, paredes de bloque y cubiertas de duratecho, zinc y hormigón armado. El mejor comportamiento es el del duratecho, que mantiene una temperatura interior superior a la exterior en menos de 1°C, e inferior a la exterior, también en 1°C, a las 11:00 am. La peor solución es la de hormigón armado, con valores de temperatura interior superiores a la exterior en hasta 4°C. El techo de zinc presenta un comportamiento intermedio, con temperaturas interiores hasta 2°C por encima de la exterior durante la noche, y superiores en 1°C por el día (Figura 25).



Figura 25: Temperatura del aire interior en viviendas adosadas de una planta orientadas al norte, con paredes de bloque y diferentes materiales de cubierta. (Elaboración propia).

### **Resumen de la influencia de las variables observadas en la temperatura del aire interior en las viviendas.**

La discusión de este resultado conduce a concluir que, en contextos periféricos, las condiciones específicas en cuanto a la proximidad de las viviendas (que casi nunca llega a ser menor de 10 m, o sea, más de tres veces su altura) o la presencia de vegetación, generalmente escasa, no induce diferencias significativas en la temperatura del aire interior.

Tampoco existen notables diferencias en cuanto a las tipologías de vivienda aislada y adosada o pareada. Sin embargo, la vivienda en hilera como en el caso de María Asunción de Picoazá, presenta condiciones más favorables del ambiente térmico interior. También es posible apreciar que las viviendas populares autoconstruidas ofrecen mejores condiciones que las de MIDUVI.

Llama la atención que, tanto en los resultados de las mediciones realizadas como en las entrevistas a los habitantes, a diferencia de lo esperado, las viviendas en planta baja, a pesar de no tener la cubierta expuesta a la radiación solar diurna, presentan condiciones térmicas interiores más desfavorables que las de cubierta expuesta en planta alta. Esto puede ser un reflejo de las ventajas nocturnas del techo de zinc, que se enfría rápidamente.

En cuanto a la orientación, tampoco las diferencias resultan significativas, cuando se emplean cubiertas a dos aguas, pero con cubierta a una sola agua, la orientación oeste resulta más desfavorable en el horario de la tarde y la noche.

Ante esta situación de soluciones tipológicas de vivienda y contextos muy similares, los materiales de construcción empleados, tanto en paredes como en cubierta, constituyen la variable de mayor influencia en la temperatura del aire interior.

A pesar de que según la metodología de Mahoney (Chidambareswaran, 2005) en las condiciones del clima de Portoviejo resultarían recomendables paredes pesadas con cierta inercia térmica, los menores valores de temperatura del aire interior se obtienen en las viviendas con paredes de caña, y las más altas en las de ladrillo, que tiene mayor inercia térmica que el bloque. Estos resultados coinciden con la percepción térmica manifestada por las personas.

Por otro lado, las mayores temperaturas interiores se registran en las viviendas con cubierta de hormigón armado, sobre todo, en horas de la noche y la madrugada, lo cual también coincide con la percepción de los habitantes. De forma casi unánime, las personas entrevistadas en las 98 viviendas estudiadas, opinan que sus casas son calurosas o muy calurosas, sobre todo en el horario diurno, principalmente en la tarde, cuando brilla

el sol, con excepción de los habitantes de viviendas con paredes de caña, que confiesan que son relativamente frescas durante el día. Por el contrario, los que habitan en viviendas con cubierta de hormigón manifiestan que éstas son muy calurosas, incluso durante la noche.

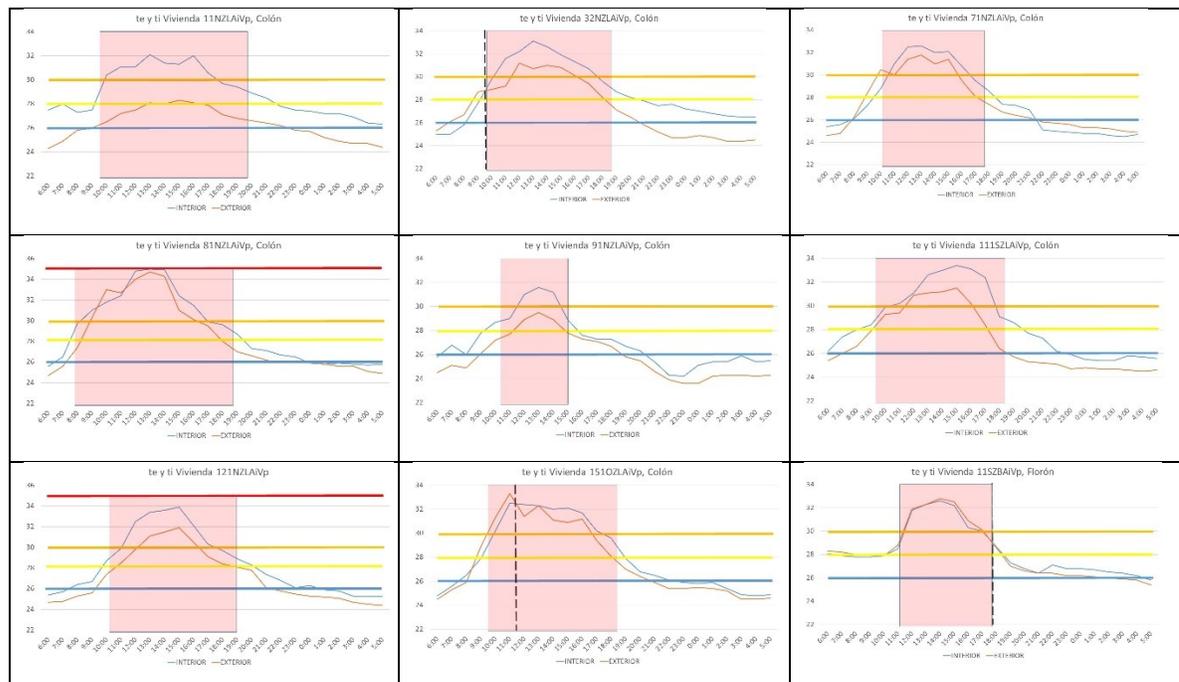
A pesar que la humedad relativa diurna es un poco más baja que en la mayoría de los climas cálidos y húmedos (entre 40% y 60%), y la amplitud de oscilación de las temperaturas durante algunos meses es ligeramente superior a 10°C, ese estrecho margen no llega a hacer justificable el empleo de materiales con inercia térmica en paredes (como propone Mahoney), y mucho menos en cubiertas, lo cual sí coincide con la recomendación de Mahoney (Chidambareswaran, 2005) de usar cubiertas ligeras y aisladas.

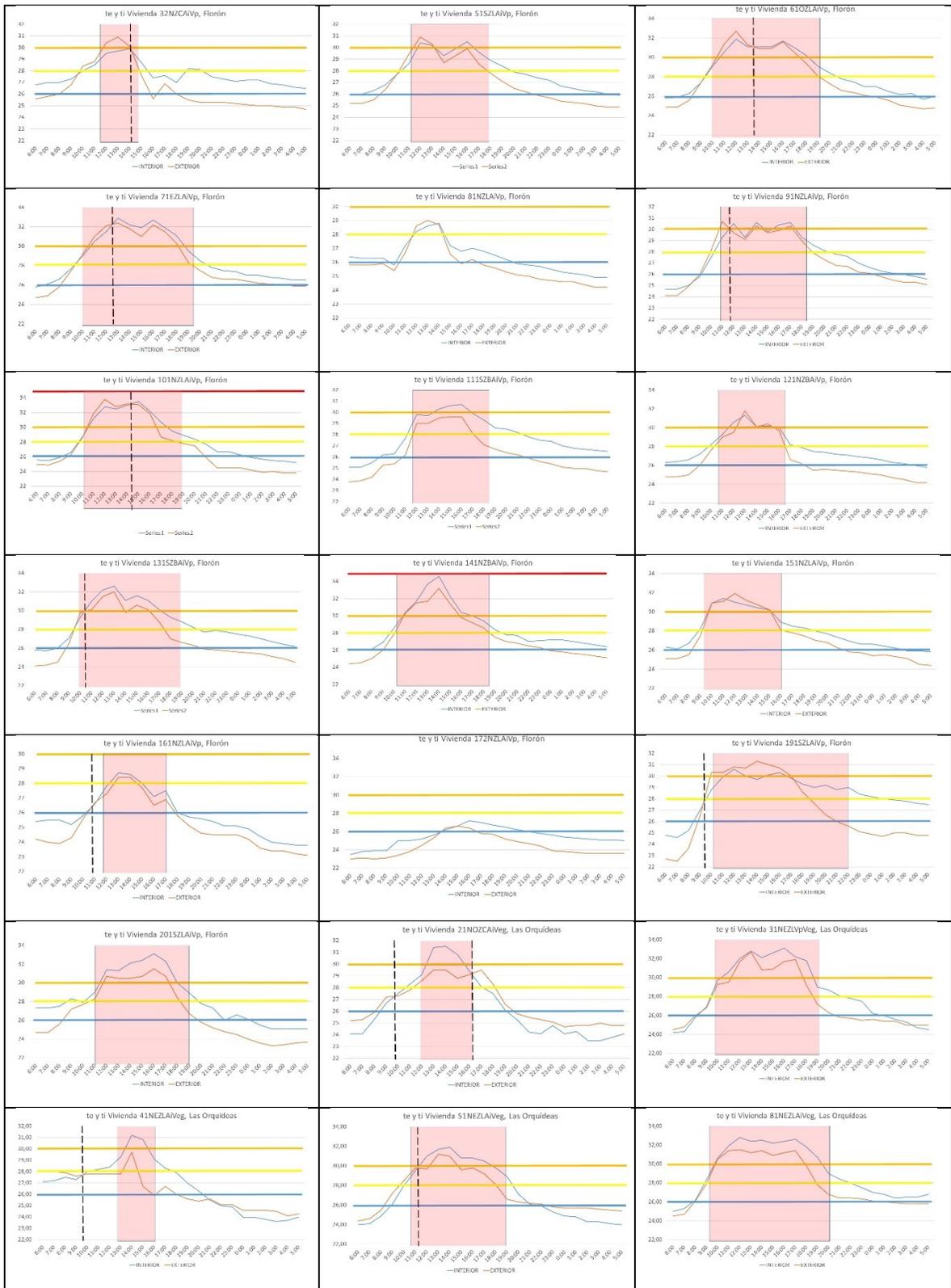
### 2.3.3. Ambiente térmico interior en las viviendas con cubierta de zinc.

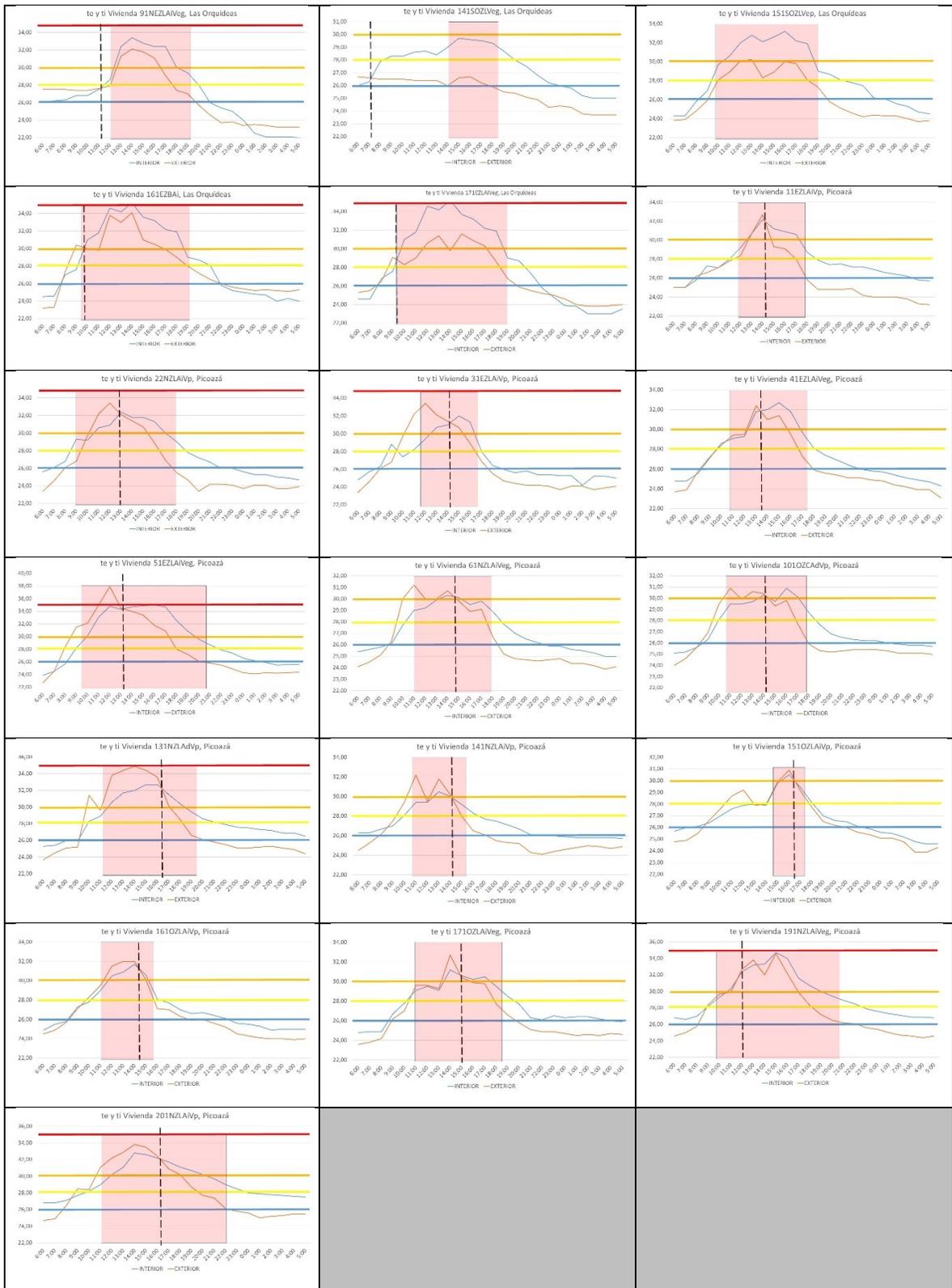
Una vez explorada la influencia de las variables de diseño en el ambiente térmico interior de las viviendas, se concentra la atención en la vivienda con cubierta de zinc, que es la que más abunda, y que constituye el objeto de estudio de la presente investigación, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de la temperatura interior en estos casos a partir del estudio exploratorio realizado.

De la muestra total de viviendas estudiadas en los 5 asentamientos seleccionados, 49 tienen cubierta de zinc.

Tabla 4: Período de estrés térmico en las viviendas con cubierta de zinc cuya temperatura interior fue medida.







En la Tabla 4 aparecen los gráficos de la temperatura interior y exterior medida durante 24 horas en cada una de las 49 viviendas estudiadas con techo de zinc. A partir de las conclusiones del marco teórico de la presente investigación, en cada uno, la línea azul indica el valor de temperatura de 26 °C, considerado como neutro y por tanto, confortable, las líneas amarillas y naranja las temperaturas de 28 °C y 30 °C, asumidos como no confortables, y la línea roja indica la temperatura de 35 °C, con implicaciones negativas para la salud. Por otro lado, la línea vertical negra discontinua señala el momento en que la  $t_i$  se hace superior a la  $t_e$ , y el rectángulo de color rosa, las horas en que la temperatura interior (sea superior o no a la exterior) se encuentra por encima de 29 °C, valor intermedio para indicar la falta de confort térmico.

Sólo en 12 de los 49 casos (casi la cuarta parte), llegan a alcanzarse temperaturas interiores de 35 °C, en algún momento cercano al mediodía, la mayoría de ellos (7) situados en Las Orquídeas, y solo en uno se alcanzan temperaturas superiores a 27 °C, por tratarse de un día lluvioso. En 13 de los 29 casos (más de la cuarta parte), la temperatura interior siempre se mantiene por encima de la exterior, 6 de ellos (casi la mitad) situados en Colón. El momento en que la temperatura interior se hace mayor que la exterior varía entre las 7:30 am y las 6:00 pm.

En el gráfico de la (Figura 26) aparecen las temperaturas interiores medidas en cada uno de los barrios, con los mencionados valores de referencia, de manera que es posible apreciar el predominio del estrés térmico en todos los casos.

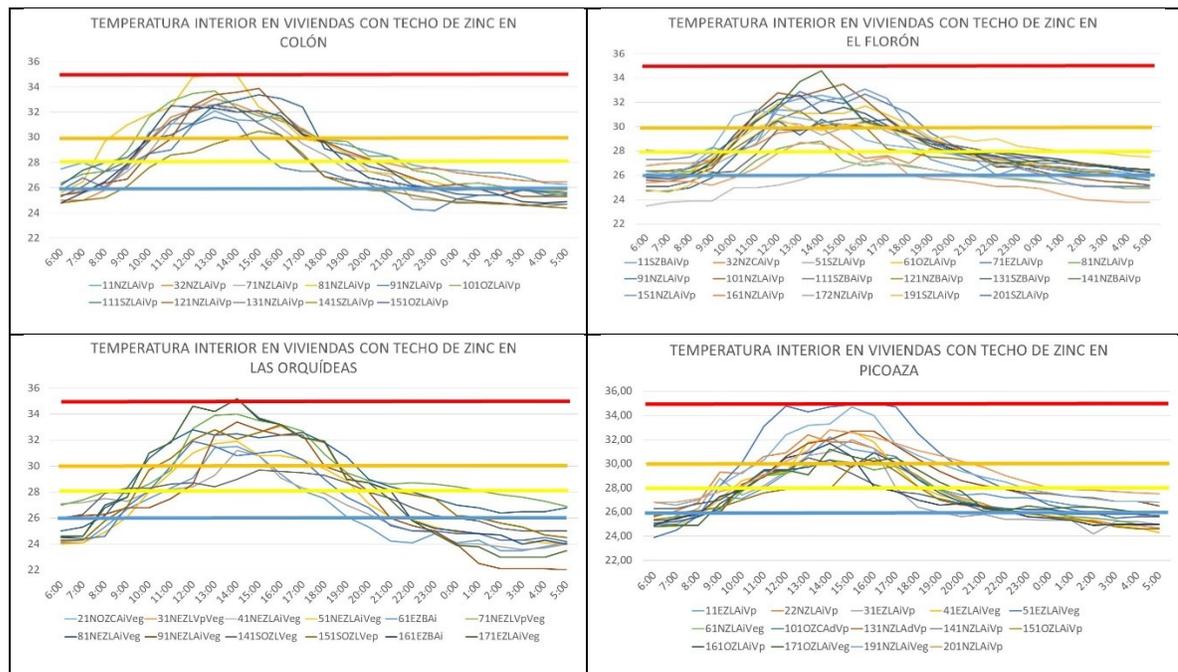


Figura 26: Temperatura interior medida en las viviendas con cubierta de zinc en los barrios estudiados (Elaboración propia)

En la (Figura 27) se han superpuesto el gráfico resumen de las temperaturas medidas en Las Orquídeas, los períodos en que las temperaturas interiores son superiores a 29 °C en todas las viviendas estudiadas, y es posible apreciar el predominio del intervalo de 10:30 am a 7:00 pm, de manera que para valorar los beneficios de las soluciones alternativas propuestas, se ha considerado un período promedio de 8,5 horas de exposición de los habitantes a estrés térmico en las viviendas con cubierta de zinc.

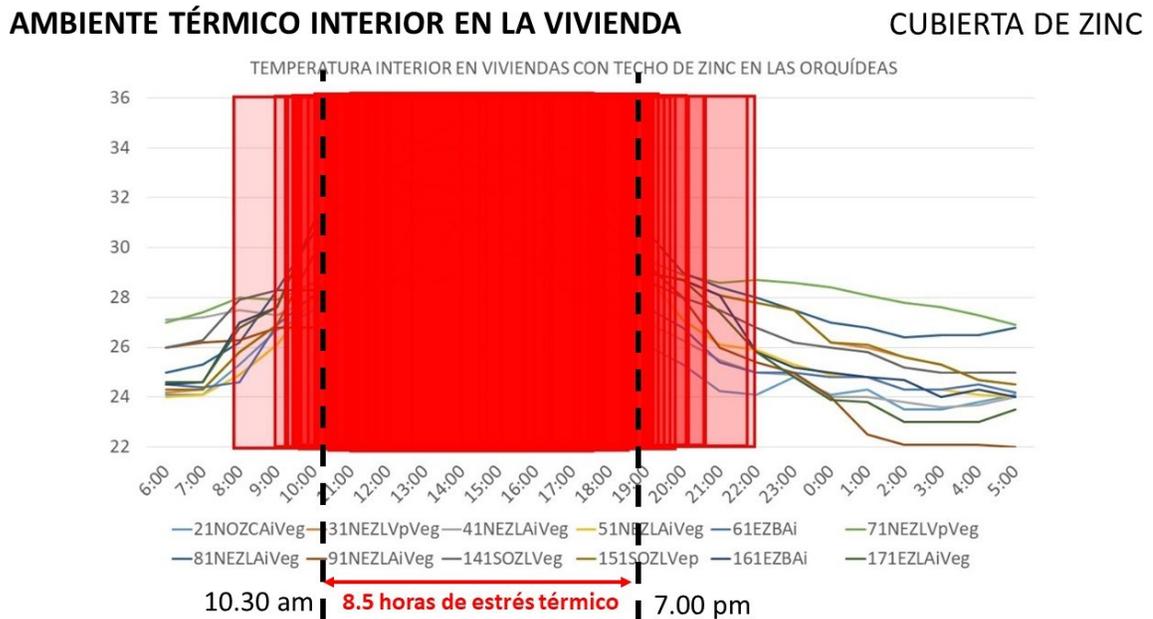


Figura 27: Superposición sobre las temperaturas medidas en las viviendas de Las Orquídeas, de los intervalos de tiempo en que los habitantes de todas las viviendas estudiadas con cubierta de zinc, están sometidos a estrés térmico. (Elaboración propia)

Con vistas a verificar los resultados de este análisis gráfico, se realizó un procesamiento estadístico de las temperaturas interiores medidas en todas las cubiertas con techo de zinc, en los diferentes asentamientos estudiados, con independencia del comportamiento de las restantes variables de diseño consideradas. El procesamiento estadístico realizado con el software Statgraphics permitió corroborar los valores del período de estrés térmico asumidos a partir del análisis gráfico de las mediciones de temperatura en Las Orquídeas. Los resultados pueden apreciarse en los histogramas recogidos en la Figura 28.

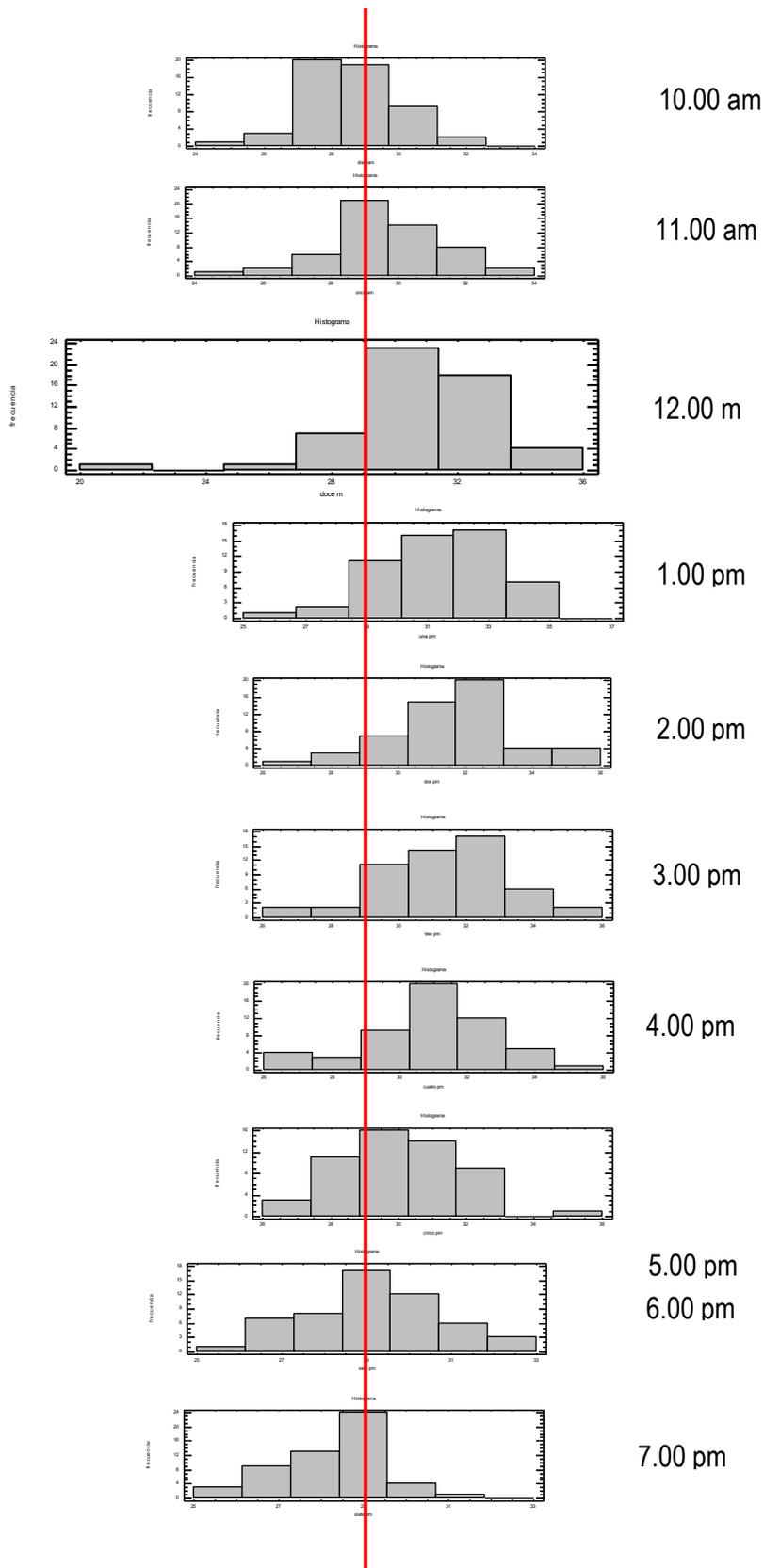


Figura 28: Histogramas de la distribución de valores de temperaturas medidos en las viviendas con cubierta de zinc entre las.10.00 am y las 7.00 pm (Elaboración propia)

#### **2.4. Inventario de recursos locales disponibles como solución alternativa para reducir la carga térmica a través de la cubierta**

La mayor influencia en el ambiente térmico interior de la vivienda individual aislada uniplanta en la latitud del Ecuador, donde la radiación solar es casi perpendicular todo el año, es su incidencia en la cubierta, lo cual condiciona una elevada temperatura sol – aire y por tanto, una gran diferencia de temperatura entre las superficies exterior e interior de la cubierta, lo que a su vez incrementa la magnitud del flujo de calor hacia el espacio interior. No obstante, el flujo térmico se reduce considerablemente en días nublados y lluviosos, como ha sido demostrado en mediciones realizadas por el autor en una vivienda ubicada en la playa San Clemente (Véliz, González, & Zambrano, 2018).

A reducir ese flujo de calor contribuye la sombra arrojada sobre la cubierta, ya sea por las edificaciones y vegetación arbórea existente en el contexto, o por el empleo de soluciones de doble techo, lo cual constituye una solución de diseño. También es posible reducir el flujo de calor hacia el interior disminuyendo la absorptividad de la superficie exterior y el coeficiente global de transferencia térmica del elemento de cubierta.

Para lograr este objetivo sin incrementar los costos iniciales de ejecución o los costos globales y anuales, resulta conveniente el empleo de recursos alternativos disponibles localmente, tanto naturales como reciclados (Asdrubali, D'Alessandro, & Schiavoni, 2015), y otros elementos tradicionalmente empleados para cubiertas de viviendas en la región. Es por ello que se procedió al inventario de recursos locales susceptibles de ser empleados en las cubiertas de la vivienda de interés social en Portoviejo, para contribuir a reducir el flujo de calor hacia el espacio interior.

El inventario tuvo como base principal la propia experiencia del autor de este manuscrito en labores de construcción en la región, más la consulta de expertos. El inventario realizado incluye no sólo los recursos alternativos disponibles, sino aquellos que comúnmente se usan hoy en las cubiertas de la vivienda de interés social, sus costos y sus propiedades físico térmicas, y fue tomado como base para una investigación experimental con vistas a evaluar comparativamente su posible comportamiento térmico en la vivienda, cuyos resultados se exponen en el próximo capítulo.

La información recopilada en el inventario como base para el análisis costo – beneficio que se expone en el Capítulo 3, incluye para cada recurso o material.

DENOMINACIÓN: Nombre popular o comercial con que se conoce el elemento

DISPONIBILIDAD EN EL TERRITORIO: Se evaluó en alta, media o baja, aunque la mayoría de los materiales han sido considerados, precisamente por su alta disponibilidad local, ya sea como materiales naturales o

industrializados disponibles en el mercado, y en otros casos, materiales de desecho que pueden ser recuperados.

**CARACTERÍSTICAS GENERALES:** Entre las características de los materiales recogidas en las fichas, se encuentran sus dimensiones más comunes. El peso es importante desde el punto de vista de los costos de construcción y transportación, pero también porque la densidad influye en el comportamiento físico térmico. Esta información fue obtenida de los catálogos de venta, o de la literatura consultada, en ocasiones por asociaciones con elementos similares.

**TERMINACIÓN SUPERFICIAL:** En este caso se tuvieron en cuenta las características de la superficie de los materiales o elementos, que condicionan su comportamiento térmico, como la reflectividad, absorptividad y emisividad. Esta información se obtuvo en la literatura consultada, teniendo en cuenta el color y tipo de material, en ocasiones, a partir de asociación con casos similares. Con respecto a las superficies metálicas se consideraron diversos valores en función de su brillantez y oxidación por envejecimiento.

**COSTOS POR m<sup>2</sup>.** Se han valorado los costos del ciclo de vida de cada uno de los materiales y elementos considerados, comenzando por el costo (o precio) inicial de adquisición, seguido del costo de ejecución que incluye no sólo el material, sino la mano de obra y los equipos requeridos. Teniendo en cuenta la durabilidad de cada material y el mantenimiento requerido, se han estimado los costos de mantenimiento, reparación y reposición requeridos a lo largo de la vida útil de la vivienda, asumida en 60 años, para estimar el costo anual de mantenimiento como factor de comparación (González, 1997).

Tabla 5: Recursos locales tradicionalmente empleados en cubiertas.

	<p><b>CADY.</b> Material de construcción tradicional en la cubierta de la vivienda vernácula, que responde a las estrategias recomendadas de diseño bioclimático, pero que ha dejado de usarse por ser considerado como símbolo de atraso y miseria.</p>
	<p><b>PLANCHAS ACANALADAS DE ACERO GALVANIZADO.</b> Popularmente conocidas como “zinc”. Elemento de construcción más empleado, tanto en la vivienda popular como en la VIS. Dimensiones: 1.00m X 3.00m.</p>
	<p><b>TEJA METÁLICA GRAVILLADA O DE COLOR.</b> Teja similar a la de acero galvanizado, en cuanto a su composición, con dimensiones de 1.33 m X 0.41 m, pero se diferencia por su forma y la terminación en gravilla natural de diferentes colores. Se usó la de color terracota, similar a la teja de barro.</p>
	<p><b>ESTILPANEL.</b> Lámina de galvalume (aluminio y zinc) para cubiertas livianas, resistentes y de fácil mantenimiento, cuyos espesores varían desde 0,25 hasta 0,90 mm. Se usó porque es un material que se lo encuentra fácilmente y además es económico.</p>

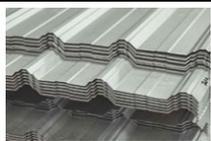
	<b>DURATECHO.</b> Tejas de acero de 0,25 y 0,30 mm de espesor, revestida con una aleación de aluminio y zinc que garantiza un techo resistente e impermeable y durable.
	<b>TEJAS DE ASBESTOCEMENTO (LOCALMENTE CONOCIDAS COMO “ETERNIT”)</b>
	<b>TEJA DE BARRO.</b> Material tradicionalmente usado en la cubierta de viviendas en todo el mundo.
	<b>HORMIGÓN ARMADO.</b> Material más frecuentemente usado en la medida en que las condiciones económicas de la familia mejoran para hacer la inversión. Espesores (15 y 20 cm).

Tabla 6: Recursos locales tradicionalmente empleados como cielorraso en cubiertas.

	<b>CORCHO.</b> Paneles producidos industrialmente y disponibles a nivel local, con baja conductividad térmica.
	<b>YESO.</b> Material de uso generalizado a escala local para cielorraso de viviendas por razones estéticas.

Tabla 7: Recursos locales disponibles (naturales o reciclados) para soluciones alternativas que contribuyan a reducir la carga térmica a través de la cubierta.

	<b>BAMBÚ EN FORMA DE ESTERILLAS, CONOCIDO COMO “CAÑA PICADA”.</b> Fibra vegetal de baja conductividad, disponible localmente, que se obtiene de abrir el tronco de la caña guadua para crear esterillas planas, permeables al viento y a la luz.
	<b>ZAPÁN.</b> Fibra vegetal de baja conductividad, que se obtiene de la hoja de la planta del plátano, muy abundante en la zona. Normalmente sólo se emplea para confeccionar cuerdas para atados.
	<b>ASERRÍN.</b> Desecho disponible susceptible de ser reciclado
	<b>CHASQUI.</b> Árido a partir de rocas volcánicas provenientes de la sierra, que comúnmente se emplea en la elaboración de bloques de mortero. Disponible localmente.

	<b>FIBRA DE COCO.</b> Fibra vegetal de baja conductividad, abundante en la zona y que constituye un desecho.
	<b>CAUCHO RECICLADO (PICADO).</b> Proveniente de los neumáticos de los vehículos, se considera un desecho altamente tóxico, cuyo reuso y reciclaje resulta muy conveniente. Es un material de baja conductividad térmica.
	<b>POLIESTIRENO EXPANDIDO (POLIESPUMA O ESPUMA-FLEX).</b> Material sintético aislante que se produce y comercializa a nivel local, y que también puede ser reusado del embalaje de los equipos electrodomésticos.
	<b>PAPEL PERIÓDICO.</b> Se empleó por su conocido elevado aislamiento, y su disponibilidad como recurso a reusar o reciclar.

## 2.5. Conclusiones parciales

- Por su ubicación geográfica (latitud – 1 grado y altitud de 53 MSNMM), Portoviejo presenta un clima cálido con una oscilación diaria de las temperaturas entre 8,1°C y 12,3°C, y amplia variación de la humedad relativa durante el día, con máximas por encima de 91% en horas de la madrugada, y mínimas entre 40% y 60% al mediodía. Por tal razón, las condiciones son calurosas durante el día y demasiado húmedas en la noche, con marcadas estaciones de seca y lluvia.
- A partir de las condiciones climáticas las estrategias recomendables de diseño pueden resumirse en máxima protección solar y permeabilidad al viento, con cubiertas ligeras y aislantes, es decir, de bajo coeficiente global de transferencia térmica, y paredes exteriores e interiores pesadas. Estas estrategias no se contraponen con las requeridas para reducir la vulnerabilidad ante sismos.
- En la ciudad se identifican cinco morfologías urbanas y tipologías arquitectónicas en las cuales habita la población, con una relativa fragmentación por quintiles en tres grandes grupos (1 y 2, 2 y 3, y 4 y 5). Las viviendas unifamiliares aisladas y de una planta que produce MIDUVI y que constituyen el objeto de estudio de la presente investigación, generalmente se ubican en la zona periurbana.
- La vivienda de interés social desarrollada a partir de los años 60's ha evolucionado hacia una mayor ocupación del suelo y crecimiento en altura, con aumento del área de ventanas de vidrio expuestas al sol, todo lo cual afecta negativamente el ambiente térmico interior. Los edificios multifamiliares de vivienda social nunca fueron totalmente asimilados y apropiados por la población.
- En el trabajo experimental de campo pudo constatar el efecto de la isla de calor urbana en los sectores estudiados, con temperaturas superiores a la estación meteorológica de menos de 1°C en los barrios periféricos y hasta 4°C en las zonas más urbanizadas.

- Según los resultados de la investigación de campo en sectores donde predomina la vivienda social recientemente construida por MIDUVI, se ha comprobado que el ambiente térmico interior es desfavorable, que la vivienda popular autoconstruida presenta un mejor comportamiento, y que la variable que más influye es solución constructiva de la envolvente, específicamente, la cubierta.
- Se comprueba que la vivienda de paredes de caña resulta más favorable para el ambiente térmico interior, mientras que la cubierta de hormigón armado constituye la peor solución, coincidiendo con resultados de investigaciones precedentes.
- Se comprueba que los habitantes de las viviendas con techo de zinc permanecen expuestos a condiciones calurosas durante más de 8 horas al día.
- Existe en el territorio variedad y disponibilidad de recursos, renovables y reciclables, que ofrecen posibilidades de ser empleados como solución alternativa para mejorar el ambiente térmico interior de las viviendas.

### **CAPÍTULO III.**

#### **PROPUESTAS PARA MEJORAR EL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN PORTOVIEJO. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO**

### **3. Propuestas para mejorar el ambiente térmico interior de la vivienda de interés social en Portoviejo.**

#### **Análisis costo – beneficio.**

En el presente capítulo se exponen los resultados del ensayo experimental en módulos realizado para evaluar el comportamiento térmico de los materiales y elementos de cubierta disponibles localmente. Sobre esa base, se elaboran variantes de soluciones alternativas con los materiales que mejores resultados arrojaron, con vistas a reducir la ganancia térmica a través de la tradicional cubierta de zinc. Por último, se estiman los costos anuales unitarios de las soluciones propuestas para una vida útil de la vivienda valorada en 60 años, así como los posibles beneficios derivados de su empleo.

#### **3.1. Comportamiento térmico de las soluciones alternativas de cubierta**

Como que las propiedades físico térmicas de muchos materiales alternativos de construcción no siempre se encuentran disponibles en las normas y la literatura internacional, e incluso, en caso de encontrarse, el comportamiento real varía en función de las especificidades del recurso local, se diseñó una investigación experimental para medir y evaluar de forma comparativa la influencia en la temperatura del aire interior de las soluciones constructivas de cubierta identificadas como objeto de estudio.

##### **3.1.1. Propiedades físico térmicas de los materiales y elementos de construcción a ensayar**

Para diseñar el experimento se procedió, primeramente, a buscar en la literatura internacional disponible, información sobre el comportamiento físico térmico de los materiales y elementos de construcción que serían objeto de estudio, o similares, de acuerdo con los resultados de investigaciones precedentes. Las fichas y la tabla resumen de la propiedad física térmica de los materiales y elementos de construcción empleados en el ensayo, así como la fundamentación de su selección y la de los valores a tener en cuenta en el análisis cualitativo inicial aparecen en el anexo.

#### **ELEMENTOS SIMPLES**

La categoría “elementos simples” se refiere a todas las posibles soluciones de cubierta localmente empleadas, recogidas en el inventario de recursos locales, que incluye elementos metálicos, de asbesto cemento, de cerámica y de hormigón. La revisión previa de las propiedades físico térmicas de las superficies y los materiales permitió estimar el comportamiento esperado de las temperaturas interiores en los módulos experimentales.

#### **Cualidades de las superficies: reflectividad, absortividad y emisividad**

Los elementos metálicos son los más reflectantes (0,85), y por tanto, menos absorbentes (0,15), específicamente, el steel panel y el duratecho ([www.portalhuarpe.com.ar](http://www.portalhuarpe.com.ar)). Por sus características, el zinc presenta una menor reflectividad, aun cuando esté nuevo (0,44 – 0,70) como el usado en el experimento, y

todavía más baja en condiciones normales de oxidación (0,20) (NC 220 - 1: 2002). Sin embargo, la teja metálica de color rojo oscuro presenta una reflectividad de 0,25 (Condori, 2013) y una absorptividad de 0,75.

Tanto el asbesto cemento como el hormigón e incluso el cady, presentan una reflectividad media (0,30 – 0,40) (NC 220 – 1:2002) y los valores más bajos de reflexión corresponden a la teja de barro (0,13) (Butera, 2014). La terminación de pintura blanca ofrece una reflectividad alta (0,70 – 0,80) (NC 220 - 1: 2002), que no llega a ser tan elevada como la del steel panel y el duratecho, sin embargo, puede contribuir a aumentar la reflexión y por tanto, reducir la temperatura superficial en el resto de los elementos.

La emisividad de la superficie es baja en los elementos brillosos como el Duratecho (0,05) y el steel panel (0,07) (Chavez y otros, 2015) menos baja en el zinc nuevo (0.15 – 0.30) y un poco más alta en el zinc oxidado (0,20 – 0,40) (NC 220 - 1: 2002), mientras que en el resto de las superficies es alta, con independencia del color (0,85 – 0,95) (NC 220 - 1: 2002 (Butera, 2014).

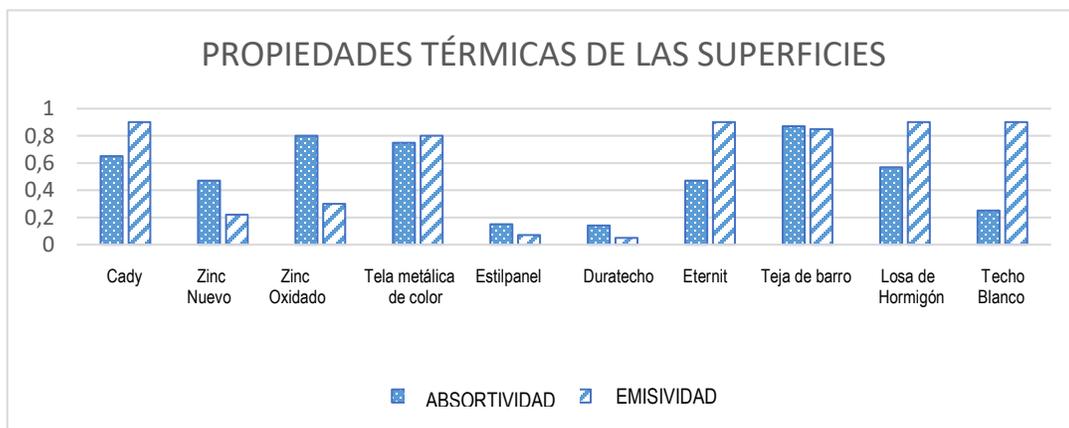


Figura 29. Propiedades físico térmica de las superficies (Elaboración propia)

### Conductividad del material y transferencia térmica del elemento

Los elementos metálicos tienen de manera general, una alta conductividad térmica (61 – 204 W/m°C), por lo que (Butera, 2014) estima la transferencia térmica de todas las láminas metálicas corrugadas en 7,14 W/m<sup>2</sup> °C. El asbesto cemento presenta una conductividad inferior (1,71) (Chávez y otros, 2015), con un coeficiente global de transferencia térmica de 4,9 W/m<sup>2</sup> °C para la teja de Eternit (Butera, 2014). La conductividad térmica del hormigón armado se estima entre 1,4 y 1,74 W/m°C, de manera que el coeficiente global de transferencia térmica sería de 3,58 W/m<sup>2</sup> °C para una losa de 0,15m de espesor y 3,18 W/m<sup>2</sup> °C para una de 0,20 m (NC 220-1: 2002). La teja de barro tiene una conductividad de 1,3 W/m°C (Butera, 2014), pero por su menor espesor, su coeficiente global de transferencia térmica debe ser mayor que el del hormigón, sin embargo, es difícil de estimar y por ello no se ofrece comúnmente en la literatura, ya que depende del tipo de cubierta en el cual la

teja de apoya y sirve como terminación. La conductividad del cady, como fibra vegetal es, por el contrario, muy baja ( $0,07 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) (Butera, 2014), así como el coeficiente global de transferencia térmica ( $0,026 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$ ). (Chávez et al., 2015).

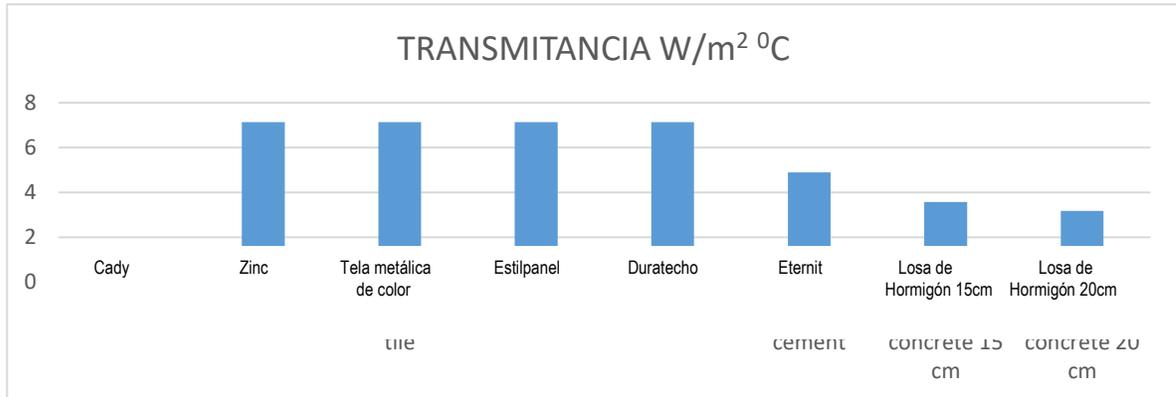


Figura 30. Transferencia térmica de los elementos (Elaboración propia)

Los elementos laminares ligeros, con independencia del material, prácticamente no tienen retraso térmico (Butera, 2014), por lo que sólo se considera el retraso térmico del hormigón armado en función de su espesor, según Alemany (1986) con 3,8 h para una losa de 0,15 m de espesor y 5,1 h para una de 0,20 m.

Por el alto coeficiente global de transferencia térmica o transmitancia de los elementos de cubierta ligera metálica, particularmente el zinc, e incluso, del asbesto cemento, se decidió estudiar su comportamiento con la adición de diversos elementos de cielo raso separados de la cubierta por una cámara de aire no ventilada. También se experimentó con la adición de morteros con diversos componentes sobre el elemento de cubierta, y finalmente, con una doble cubierta sobre el techo de hormigón armado, separada por una cámara de aire ventilada, e incluso, una doble cubierta ventilada en el caso del zinc.

### Elementos de Cielo raso

Para los elementos usados como cielo raso, las propiedades superficiales no resultan determinantes en su comportamiento físico térmico, ya que esas superficies no están expuestas a la radiación solar.

### Conductividad del material

Para los elementos vegetales como caña picada, zapán, aserrín y fibra de coco, se asume una conductividad de  $0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , asignada a la fibra de madera (www.mundolignia.com). La conductividad del periódico como material alternativo ( $0,14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) se toma de (Butera, 2014). También es posible usar como falso techo elementos aislantes de poliestireno expandido, cuya conductividad ( $0,35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) igualmente se toma de

(Butera, 2014). Además, se decidió experimentar con elementos industrializados de cielorraso disponibles en el mercado. Tal es el caso de los de yeso de 1,5 cm de espesor, cuya conductividad de 1,14 W/m°C fue tomada de Chávez (2013), y el corcho de 1 cm, con conductividad de 0,38 W/m°C según Butera (2014). Como que el yeso tiene mayor conductividad que la fibra de coco, la combinación de ambos materiales tendrá un valor intermedio de conductividad.

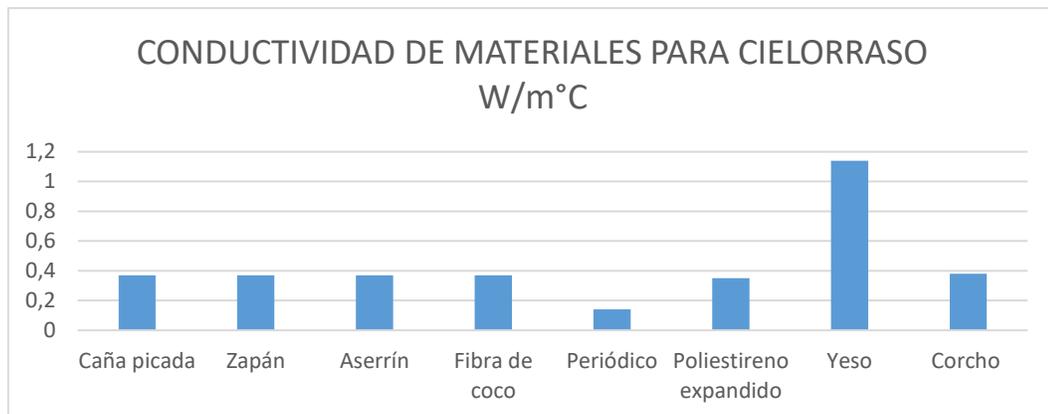


Figura 31. Conductividad de los materiales empleados en cielorraso (Elaboración propia)

Las fibras naturales presentan un comportamiento aislante similar al del poliestireno expandido y al caucho, mientras que la menor conductividad es la del periódico y la mayor la del yeso.

### **Morteros con materiales alternativos sobre la cubierta ligera**

Se decidió ensayar el comportamiento de los elementos ligeros de cubierta, como el zinc, con la adición de morteros en la parte superior, elaborados con algunos de los materiales también empleados en el cielorraso, como zapán, aserrín, fibra de coco y poliestireno expandido, además, con chasqui y caucho reciclado como materiales de desecho. La conductividad del chasqui se asumió como arena en 0,58 W/m°C ([www.mundolignia.com](http://www.mundolignia.com)), y la del caucho reciclado como 0,16 W/m°C (Harlan et al., 2012).

Es de suponer que la conductividad de los materiales incluidos en el mortero influya en la de éste, pero a partir de los medios disponibles para esta investigación no ha sido posible medir la transferencia térmica de esos materiales, por lo que para las propiedades físico térmica de los morteros a colocar en la parte superior de las cubiertas ligeras se ha asumido un mismo valor, y las diferencias de su comportamiento han sido verificadas en las mediciones realizadas en los módulos experimentales. La reflectividad y absorptividad de la superficie expuesta, asumiendo color gris es de 0,64 y 0,35 respectivamente ([www.grupoinalsa.com](http://www.grupoinalsa.com)), la emisividad de 0,96, como el hormigón ([www.academiatesto.com.ar](http://www.academiatesto.com.ar)) y la conductividad fue asumida en 1,40 W/m° k como mortero de cemento, según Butera (2014).

### Doble cubierta con cámara de aire ventilada

Otra forma de reducir la transferencia térmica a través de cubiertas de láminas ligeras es reduciendo la temperatura de su superficie mediante sombra arrojada, para lo cual es posible usar doble cubierta, incluida la doble cubierta verde. Como que el zinc es el material más empleado en cubiertas, se decidió experimentar colocando cady (material natural y tradicional con baja conductividad térmica de 0,07) directamente sobre éste, y con una doble cubierta de zinc con cámara de aire ventilada y espesores de 5, 10 y 15 cm. Según Butera (2014), la conductividad de una cámara de aire varía, en dependencia de las propiedades de ambas superficies, entre 5,56 y 8,33 W/m<sup>2</sup>°K. Por tanto, sería posible contribuir a reducir la conductividad de la lámina de zinc simple adicionando una doble cubierta con cámara de aire ventilada.

También es posible reducir la temperatura de la superficie exterior expuesta mediante una doble cubierta verde ubicada no sólo sobre el techo de zinc, sino también sobre el de hormigón. La reflectividad de la vegetación es baja (0,03 – 0,10) (Alemany, 1986), la absorptividad alta (0,86) (ENELVEN, 1999) y la emisividad media (0,20 – 0,40) (NC 220, 2002). La conductividad térmica de la vegetación ha sido estimada por Machado et al., (2003) en 0,12 W/m<sup>2</sup>°C, por lo cual ésta también debe contribuir a reducir la transferencia térmica a través de la cubierta.

Tabla 8. Tabla resumen de propiedades térmicas de materiales y superficies

ELEMENTO DE TECHO	REFLECTIVIDAD	ABSORPTIVIDAD	EMISIVIDAD	CONDUCTIVIDAD W/m°C	TRANSMITANCIA (W/m <sup>2</sup> °C)	RETRASO TÉRMICO (h)
Cady	0,30 – 0,40 [25]	0,60 – 0,70 [22]	0,85 – 0,95 [96, 9]	0,07 [9]	0,0268 [29]	0 [9]
	Nuevo 0,44 – 0,70 [24]	0,30 – 0,65 [96]	0,15 – 0,30 [96]			
Zinc	Oxidado 0,20 [24]	0,80 [96]	0,20 – 0,40 [96]	61 – 204 [9]	7,14 [9]	0 [9]
	Blanco 0,70 – 0,80 [24]	0,20 – 0,30 [96]	0,85 – 0,95 [96, 9]			
Teja metálica de color	0,25 [25]	0,75 [140]	0,85 – 0,95 [96, 9]	61 – 204 [9]	7,14 [9]	0 [9]
Estilpanel	Original 0,85 [23]	0,15 [21]	0,07 [29]	61 – 204 [9]	7,14 [9]	0 [9]
	Blanco 0,70 – 0,80 [24]	0,20 – 0,30 [96]	0,85 – 0,95 [96, 9]			
Duratecho	Original 0,85 [23]	0,15 [21]	0,05 [61]	61 – 204 [9]	7,14 [9]	0 [9]
	Blanco 0,70 – 0,80 [24]	0,20 – 0,30 [96]	0,85 – 0,95 [96, 9]			
Eternit	Original 0,30 - 0,40 [25]	0,60 – 0,70 [22]	0,85 – 0,95 [96, 9]	1,71 [16]	4,9 [9]	0 [9]
	Blanco 0,70 – 0,80 [24]	0,20 – 0,30 [96]	0,85 – 0,95 [96, 9]			
Tejas de barro	0,13 [9]	0,87 [9]		1,3 [27]		
Losa	15 cm 0,30 -0,40 [22]	0,60 – 0,70 [22]	0,85 – 0,95 [96, 9]	1,4 – 1,74 [24]	3,58 [96]	3,8 [6]
hormigón	20 cm 0,30 -0,40 [22]	0,60 – 0,70 [22]	0,85 – 0,95 [96, 9]		3,18 [96]	5,1 [6]

### 3.1.2. Diseño del experimento

Como resultado de la evaluación cualitativa del comportamiento probable de los materiales y elementos de construcción disponibles localmente en cuanto a su desempeño térmico, se decidió realizar mediciones en módulos experimentales unitarios (1m<sup>2</sup> de superficie) con vistas a comparar el comportamiento relativo de diferentes variantes de solución de cubierta en las condiciones de Portoviejo, ya que la ejecución de prototipos con las dimensiones reales de las viviendas resultaría demasiado costosa. Esta dimensión de los módulos facilitaría la posterior estimación de los costos unitarios.

Las mediciones se realizaron en dos períodos, el primero, en el mes de junio de 2015, y el segundo en marzo – abril de 2016. Durante la primera etapa se evaluó la influencia de la orientación (norte, este, sur y oeste) en la temperatura interior, con soluciones de cubierta tradicionalmente empleadas como el cady, el zinc, y el estilpanel, inclinadas a 12° respecto al plano horizontal. También se ensayó el efecto del color blanco en la superficie exterior, aplicado al zinc y el estilpanel, así como la colocación de caña picada sobre la tradicional cubierta de zinc.

Como que la influencia de la orientación no resultó significativa, por la baja latitud que ocasiona una radiación solar casi perpendicular durante todo el año, la segunda etapa de la investigación en módulos experimentales que se desarrolló en marzo – abril de 2016, se realizó con las cubiertas inclinadas a 12° orientadas siempre al norte. En esta ocasión, la atención se concentró en dos cuestiones fundamentales: la primera continuando la evaluación de la influencia de la superficie exterior blanca, y valorando el impacto de dobles cubiertas, incluido el caso de la cubierta verde, y la segunda dirigida a evaluar el efecto de soluciones alternativas elaboradas con recursos disponibles localmente (naturales o reciclados), adicionadas como cielorraso y mortero superior en la cubierta de zinc tomada como caso base.

Así, en la segunda etapa de la experimentación en módulos unitarios, se aplicó superficie blanca nuevamente a la cubierta de zinc, y además, al Duratecho y al Eternit (asbesto cemento), todas inclinadas a 12° y orientadas al norte. También se experimentó con una capa de cady sobre la tradicional cubierta de zinc. En esta etapa se incluyó la cubierta horizontal de hormigón armado, de 0,15m y 0,20m de espesor, que constituye una aspiración de la población como signo de estatus social, así como la tradicional teja de barro. Otra variante de solución ensayada en esta ocasión fue la doble cubierta de zinc con cámara de aire de 0,05m, 0,10m y 0,15m, así como una doble cubierta de zinc a 0,50m por encima de la losa horizontal de hormigón armado, y doble cubierta verde sobre el zinc y el hormigón.

Tabla 9: Elementos de techo simples considerados en el primer paso de la investigación del módulo experimental

### PRIMERA ETAPA: ORIENTACIÓN Y TERMINACIÓN SUPERFICIAL

POSICIÓN	ELEMENTOS DE TECHO	SUPERFICIE BLANCA	CAÑA PICADA ARRIBA	ORIENTACIÓN				PERÍODO DE TIEMPO
				N	O	S	E	
INCLINACIÓN 12°	Cady			X				Junio 20 – 21, 2015
					X			Junio 22 – 23, 2015
						X		Junio 24 – 25, 2015
	Zinc						X	Junio 26 – 27, 2015
					X			Junio 12 - 13, 2015
						X		Junio 14 - 15, 2015
	Zinc	X						Junio 16 - 17, 2015
		X					X	Junio 18 - 19, 2015
		X			X			Junio 20 – 21, 2015
	Zinc	X				X		Junio 22 – 23, 2015
		X					X	Junio 24 – 25, 2015
		X					X	Junio 26 – 27, 2015
Zinc	X	X		X			Junio 12 - 13, 2015	
	X	X			X		Junio 14 - 15, 2015	
	X	X			X		Junio 16 - 17, 2015	
ESTILPANEL	X	X				X	Junio 18 - 19, 2015	
				X			Junio 20 – 21, 2015	
					X		Junio 22 – 23, 2015	
ESTILPANEL	X					X	Junio 24 – 25, 2015	
	X			X			Junio 26 – 27, 2015	
	X				X		Junio 20 – 21, 2015	
ESTILPANEL	X				X		Junio 22 – 23, 2015	
	X					X	Junio 24 – 25, 2015	
	X					X	Junio 26 – 27, 2015	

Tabla 10. Elementos del techo y doble techo, considerados en el segundo paso de la investigación del módulo experimental

### SEGUNDA ETAPA: DOBLE CUBIERTA Y TERMINACIÓN SUPERFICIAL

POSICIÓN	ELEMENTOS DEL TECHO	SUPERFICIE BLANCA	CADY SOBREPUESTA	DOBLE CUBIERTA (ZINC)					DOBLE CUBIERTA VERDE	PERÍODO DE TIEMPO	
				Separación de cubierta (cm)							
				5	10	15	50	10			
INCLINACIÓN 12° ORIENTACIÓN AL NORTE	Zinc	X								Marzo 9 – 17, 2016	
										Marzo 9 – 11, 2016	
				X							Marzo 9 – 11, 2016
					X						Marzo 12 – 14, 2016
						X					Marzo 12 – 14, 2016
				X							Marzo 15 – 17, 2016
	Estilpanel								X		Marzo 15 – 17, 2016
											Marzo 30 – Abril 1, 2016
											Marzo 27 – 29, 2016
	Duratecho	X									Marzo 27 – 29, 2016
											Abril 15 – 17, 2016
		X									Abril 15 – 17, 2016
Teja de barro										Abril 18 – 20, 2016	
										Abril 27 – 29, 2016	
						X				Abril 30 – Mayo 2, 2016	
HORIZONTAL	Losa de hormigón 15 cm									Abril 27 – 29, 2016	
	Losa de hormigón 20 cm									Abril 27 – 29, 2016	
								X		Abril 30 – Mayo 2, 2016	

Por último, en esta segunda etapa de la investigación en módulos experimentales, se ensayó el efecto de la adición de morteros con materiales alternativos en la parte superior de la cubierta de zinc, tomada como caso base (zapán, aserrín, chasqui, fibra de coco, caucho reciclado, poliestireno expandido), así como elementos

interiores de cielorraso elaborados con materiales alternativos (caña picada, zapán, aserrín y periódico) y otros disponibles en el mercado como paneles de yeso y corcho.

Tabla 11. Materiales alternativos agregados a las soluciones de techo durante el segundo paso del módulo experimental

**SEGUNDA ETAPA: CIELORRASO Y MORTERO SOBRE LA CUBIERTA**

MATERIAL	MORTERO SOBRE ZINC	CIELORRASO AÑADIDO			PERÍODO DE TIEMPO
		ZINC	METÁLICO	ARCILLA	
"Zapán"	X				Abril 12 – 14, 2016
					Marzo 24 – 26, 2016
Aserrín	X				Abril 9 – 11, 2016
		X			Marzo 24 – 26, 2016
"Chasqui"	X				Abril 9 – 11, 20
Fibra de coco	X				Abril 6 -8, 2016
Caucho reciclado	X				Abril 12 – 14, 2016
Espuma flex	X				Abril 12 – 14, 2016
Periódico		X			Marzo 21 – 23, 20
Corcho		X			Marzo 18 – 20, 2016
		X			Marzo 18 – 20, 2016
Gypsum			X		Marzo 30 – Abril 1, 2016
				X	Abril 18 – 20, 2016
Fibra de coco sobre el panel de yeso		X			Marzo 21 – 23, 2016

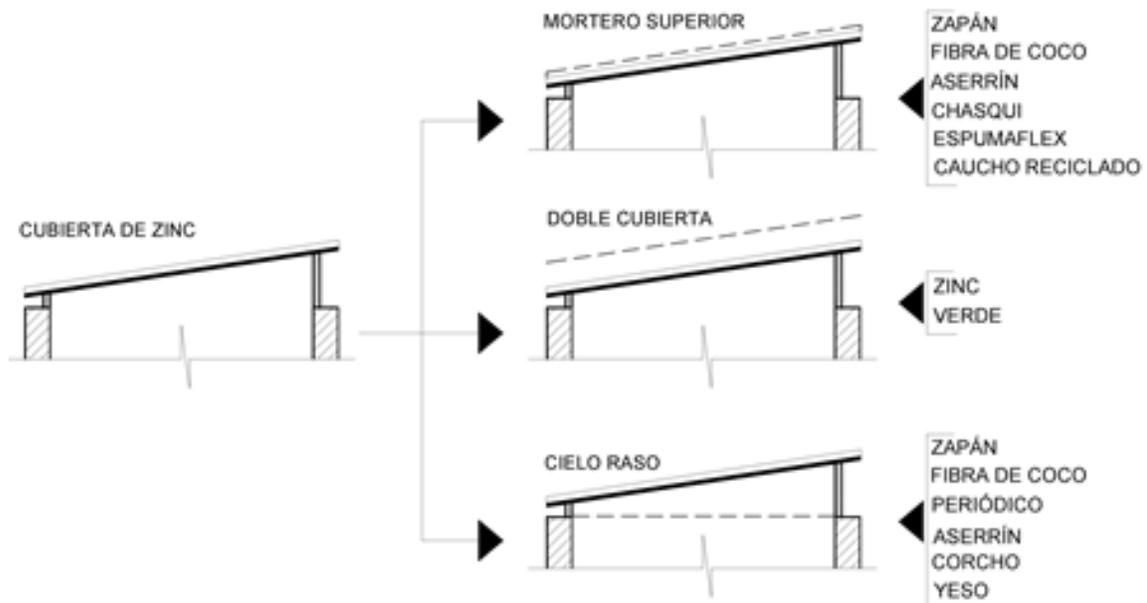


Figura 32.: Resumen de posibles soluciones a ensayar (Elaboración propia)

En la Figura 32 se resumen las variantes de posibles soluciones experimentadas en los módulos unitarios, con vistas a aprovechar los recursos locales disponibles (naturales y reciclados) en aras de reducir transferencia térmica a través de la tradicional cubierta de zinc y con ello la temperatura del aire interior en la vivienda de interés social.

### 3.1.3. Experimentación en modelos

Para comparar el comportamiento de las diferentes soluciones constructivas estudiadas, se elaboraron tres módulos espaciales mínimos de 1m<sup>2</sup> de superficie interior y 2,60m de alto, de acuerdo con las alturas predominantes en las viviendas. Estos módulos se ejecutaron con paredes de bloques de mortero de 10 cm de espesor, en un polígono experimental, separados entre sí a una distancia de 3,50 m, con vistas a evitar las sombras arrojadas, para que todos estuvieran en igualdad de condiciones con respecto a la transferencia térmica a través de las paredes, de manera que las diferencias en la temperatura del aire interior tengan relación con la solución de cubierta empleada (Figura 33). Cada día de medición se observó y registró el estado del tiempo diario, en cuanto a día soleado, nublado o lluvioso, ya que como se ha podido comprobar, la diferencia de temperatura interior – exterior sobre cuya base se han hecho las comparaciones de las mediciones no simultáneas, varía con el estado del tiempo (Véliz, González, & Zambrano, 2018)



Figura 33. Elevación y corte del módulo experimental, equipos de medición y cabina bajo el árbol para medición en exterior de referencia. (Elaboración propia)

El acceso al interior del módulo para colocar los equipos de medición se efectúa a través de una puerta de 1,00 m x 0,50 m, ubicada en la pared del módulo orientada al norte. El equipo de medición se ubica en un trípode a una altura de 1,50 m sobre el nivel de piso del módulo (Figura 33). Se trata de un equipo Kestrel 4200 Pocket Air Flow Tracker, que mide temperatura del aire, con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , y humedad relativa, entre otros parámetros como velocidad del viento, presión y altitud, que no fueron necesarios en este experimento. Las mediciones de la temperatura del aire en el interior del módulo experimental se realizan de forma simultánea con la medición de la temperatura del aire exterior a la sombra, mediante otro equipo Kestrel 4200 Pocket Air Flow Tracker, ubicado en una pequeña cabina meteorológica situada a 2.00m de altura bajo la sombra de un árbol, localizado a 50m de los módulos experimentales (Figura 33).

Las mediciones de la temperatura del aire en el interior de los módulos se realizaron cubriendo éstos con las diferentes soluciones constructivas identificadas como objeto de estudio, montadas sobre un módulo estructural de cierre construido en madera que encaja perfectamente en el volumen edificado, con el objetivo de evitar la ventilación convectiva y la salida del aire caliente. Al módulo de madera se le fueron adicionando las diferentes soluciones de cubierta ensayadas, e incluso, este pudo ser ubicado con la superficie de cubierta inclinada a  $12^{\circ}$  hacia las cuatro orientaciones principales en varios casos de estudio. El resto de los ensayos se hicieron con la cubierta inclinada orientada al norte, excepto la de hormigón armado que se ubicó en posición horizontal.

Las mediciones se realizaron en dos períodos, el primero, en el mes de junio de 2015, correspondiendo con solsticio de invierno para el hemisferio sur, momento en que la radiación solar es mayor al norte que al sur, y el segundo en marzo – abril de 2016, prácticamente en el equinoccio de primavera, cuando la radiación solar es perpendicular al mediodía. Los primeros experimentos que exploraron el comportamiento de algunas soluciones de cubierta en las cuatro orientaciones principales se realizaron del 12 al 27 de junio de 2015, momento en el cual todos los días fueron soleados y no llovió, cuestión que ha sido tenida en cuenta en la discusión de los resultados.

En la segunda etapa se ensayaron las cubiertas con morteros encima, cielorrasos debajo y dobles cubiertas, todas orientadas al norte. En todo momento se mantuvo la cubierta de zinc en uno de los módulos, por lo cual fue medida de forma simultánea con otros dos casos, cubriendo los otros dos módulos experimentales. En esta etapa hubo tres períodos de medición, del 9 de marzo al 1ro de abril, del 6 al 20 de abril y del 27 de abril al 2 de mayo, y los tiempos intermedios fueron empleados para elaborar las soluciones de cubierta a medir. Durante el primer período predominaron los días soleados, con sólo dos días nublados, y dos días, una tarde y cuatro noches de lluvia. Por el contrario, los seis primeros días del segundo período de 15 días, fueron nublados con

noches de lluvia, pero los restantes, así como los del tercer período fueron nuevamente soleados y sin lluvia, excepto la primera noche del tercer período que fue lluviosa.

Como que no todas las mediciones fueron simultáneas, la comparación del desempeño térmico de las cubiertas se ha realizado a partir de la diferencia entre la temperatura interior y la exterior, siempre medidas simultáneamente, por lo cual ha sido necesario considerar el estado del tiempo diario, debido a su comprobada influencia en el  $\Delta t$  (Véliz, González, & Zambrano, 2018). Los valores de temperatura medidos durante 2 o 3 días para cada solución objeto de estudio y en el exterior de referencia, han sido también relacionados con las temperaturas registradas simultáneamente en la estación meteorológica.

A los 55 casos medidos en la investigación experimental se les asignó un código de identificación con 9 campos que expresa el material de la cubierta, su superficie natural o blanca, el material de la doble cubierta superior y la dimensión de la cámara de aire, el material del cielorraso y del mortero superior en caso de existir y la orientación. Un resumen de todos los casos de estudio y los datos de las mediciones efectuadas aparecen en el (Anexo 6).

### 3.1.4. Resultados y discusión

#### Comportamiento de la temperatura interior en los módulos experimentales con diferentes materiales de cubierta

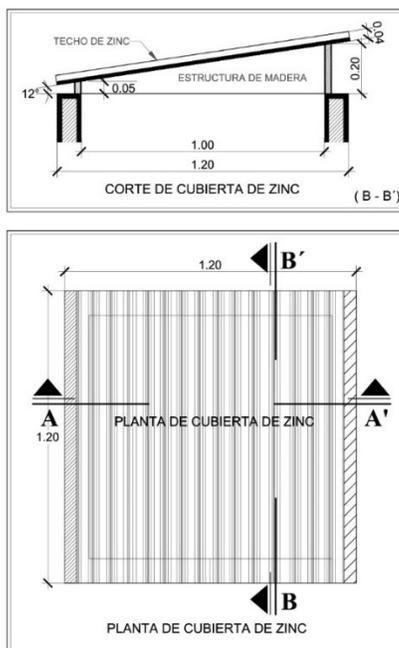


Figura 34: Vista superior y corte de la colocación de los elementos de cubierta ensayados en el módulo experimental. (Elaboración propia)

Todas las soluciones de cubiertas ensayadas, presentan condiciones favorables en el horario de la mañana, cuando la temperatura interior medida en los módulos experimentales es igual, e incluso inferior, que la exterior, pero éstas resultan más elevadas durante la tarde, noche y madrugada.

Como las mediciones fueron hechas en días soleados, es posible comparar los resultados, aunque no hayan sido simultáneas, no obstante, sí lo fueron las que aparecen en cada gráfico de las (Figuras 35 – 43). El peor comportamiento corresponde a la losa de hormigón armado, que con independencia de su espesor (15 cm o 20 cm), produce temperaturas interiores que pueden ser hasta casi 8°C más elevadas que en el exterior (Figuras 36 y 44), lo cual se agrava por el retraso térmico, que como era de esperar, es superior a 4h. Le sigue la teja de barro, con una conductividad ligeramente inferior a la del hormigón, que no es tradicional en la zona, la cual genera

temperaturas interiores que llegan a alcanzar hasta 6°C por encima de la exterior (Figura 37). En cuanto al comportamiento desfavorable, le sigue el asbesto cemento (Eternit), que ocasiona temperaturas interiores de hasta 5.5°C más elevadas (Figura 38), el estilpanel (Figura 39) y el duratecho (Figura 40), con un máximo de 4.5°C de diferencia, y la teja metálica de color, cuyo  $\Delta t$  puede llegar a 4°C (Figura 41). Contrario a lo esperado debido a su baja conductividad y transmitancia, con la cubierta de cady también se registran en el horario de la tarde temperaturas interiores superiores a la exterior en hasta casi 5°C.

El zinc, sin embargo, presenta un comportamiento un poco mejor, ya que la máxima diferencia de la temperatura interior con respecto a la exterior es ligeramente superior a 4°C (Figura 42), a pesar de que el coeficiente global de transferencia térmica de todas estas cubiertas metálicas había sido estimado como muy similar.

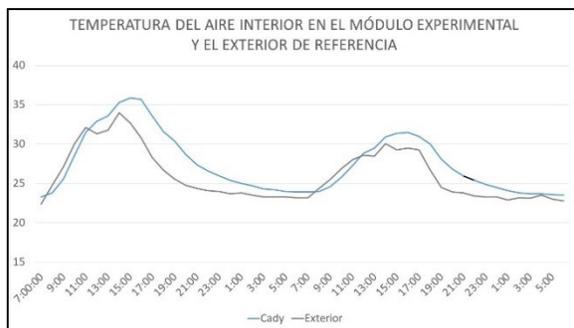


Figura 35: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de cady, según mediciones realizadas en junio de 2015 durante días soleados (Elaboración propia)

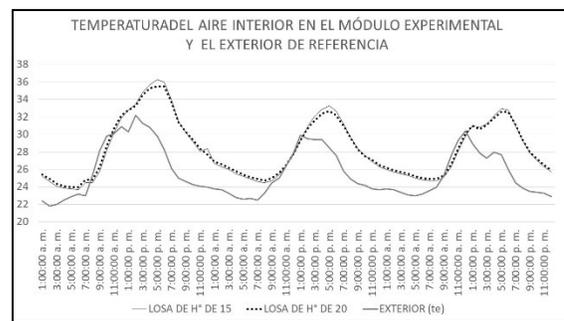


Figura 36: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de hormigón de diferentes espesores, según mediciones realizadas en abril de 2016 en días soleados, aunque la primera noche llovió. (Elaboración propia)

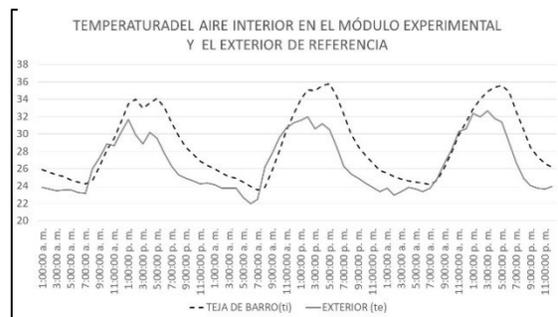


Figura 37: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de teja de barro, según mediciones realizadas en abril de 2016, en días soleados. (Elaboración propia).

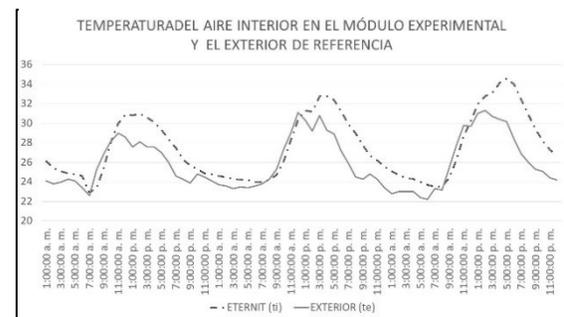


Figura 38: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de asbesto cemento (Eternit), según mediciones realizadas en abril de 2016, en días soleados. (Elaboración propia).

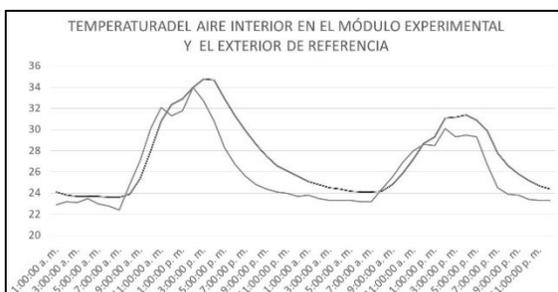


Figura 39: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de "estilpanel", según mediciones realizadas en junio de 2015, en días soleados. (Elaboración propia). 20 – 21

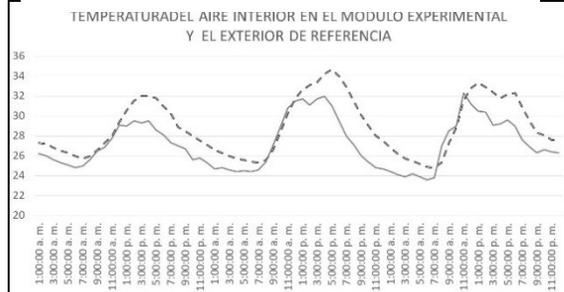


Figura 40: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de "duratecho", según mediciones realizadas en marzo de 2016. Los dos primeros días fueron soleados y el tercero nublado. (Elaboración propia).

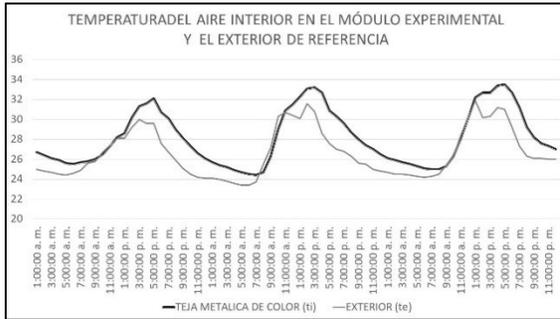


Figura 41: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de teja metálica de color, según mediciones realizadas del 30 de marzo al 1 de abril de 2016, en días soleados, aunque durante la segunda noche llovió. (Elaboración propia).

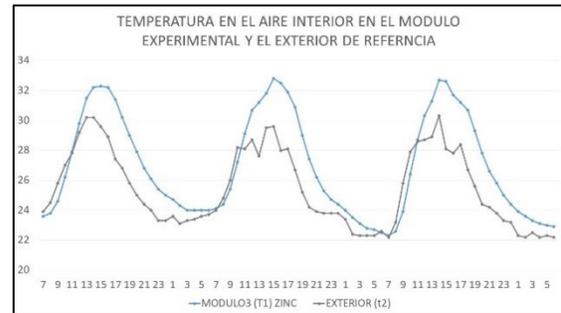


Figura 42: Temperatura en el módulo experimental con cubierta de zinc, según mediciones realizadas en abril de 2016 en días soleados

En días de lluvia la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior con cubierta de zinc puede reducirse hasta 2°C (Figura 43).

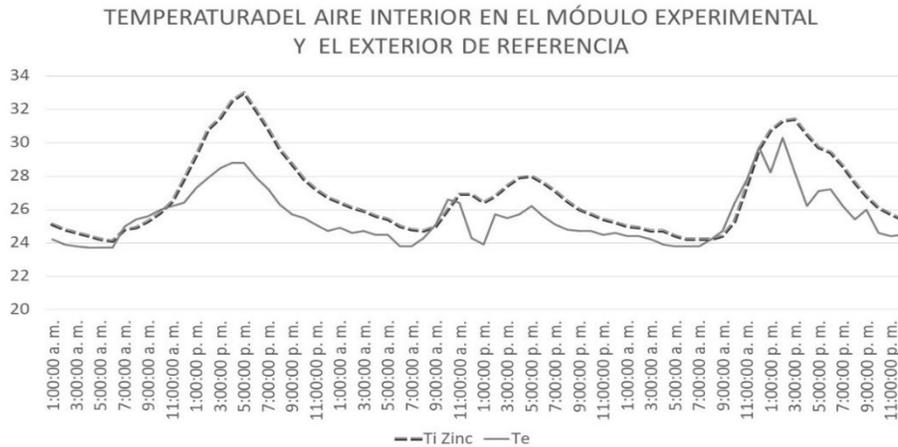


Figura 43: Temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de zinc, según mediciones realizadas en marzo de 2016. Como puede apreciarse, el primer día y el tercero fueron soleados, pero la primera noche y el segundo día llovió. (Elaboración propia).

Lo expuesto puede apreciarse en la (Figura 44) que recoge la diferencia horaria entre la temperatura interior y el exterior para todas las soluciones estudiadas, con vistas a su comparación, ya que como consecuencia de la disponibilidad de tres módulos experimentales, las mediciones no se realizaron de forma simultánea, no obstante, los días fueron soleados, excepto la primera noche lluviosa en el caso del hormigón armado y la segunda noche lluviosa en el caso de la teja metálica de color, cuya influencia no es apreciable.

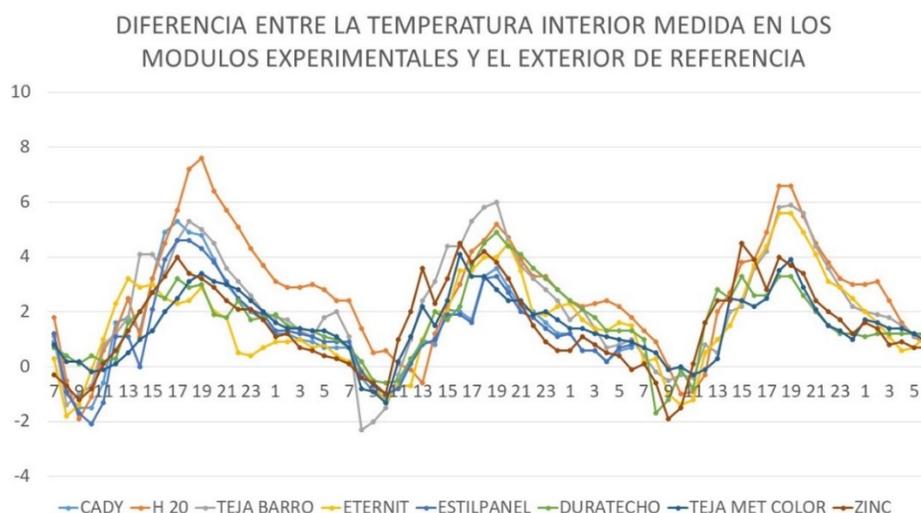


Figura 44: Diferencia de temperatura horaria entre la temperatura del aire interior en el módulo experimental con cubierta de diferentes materiales y el exterior de referencia. Todas las mediciones se realizaron en días soleados, excepto la teja metálica de color con lluvia la segunda noche y el hormigón armado con lluvia la primera noche. (Elaboración propia).

### Influencia de la orientación en el comportamiento de la temperatura del aire interior

Continuando con la cubierta de zinc, que por ser la más usada ha servido de referencia como “caso base” para los ensayos en los modelos experimentales, se midió la temperatura interior en los módulos con la cubierta de zinc inclinada a 12° en las cuatro orientaciones principales (norte, este, sur y oeste). El experimento se repitió con la cubierta de estilpanel y con ambas soluciones pintadas de blanco. Todas estas mediciones se realizaron en los meses de marzo – abril de 2015, coincidiendo con el solsticio de verano, momento en el cual el sol incide más perpendicularmente en la orientación norte.

Es por ello que en las (Figuras 45 – 49) puede observarse que existen pocas diferencias entre las cubiertas orientadas al norte y al sur, lo cual resulta lógico por la baja latitud, y además, teniendo en cuenta que estas mediciones fueron realizadas en el mes de marzo, justamente en el equinoccio. Algo similar ocurre con la cubierta orientada al oeste. Sin embargo, a pesar de la relativamente poca inclinación, la cubierta orientada al este resulta considerablemente mejor que las demás, con temperaturas inferiores en hasta casi 6°C con respecto al oeste a las 5.00 pm, como consecuencia del reducido ángulo de incidencia del sol en horas de la tarde, cuando las temperaturas del aire exterior son más elevadas.

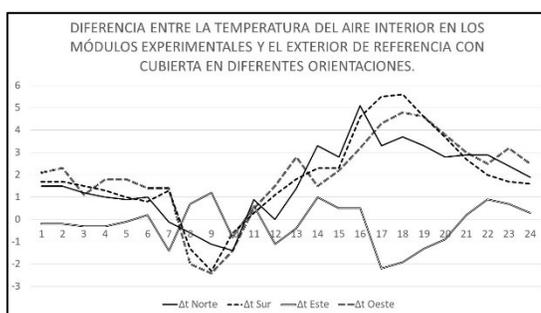


Figura 45: Diferencia de temperatura ( $T_i - T_e$ ) en el módulo experimental con cubierta de zinc en diferentes orientaciones, según mediciones realizadas en junio de 2015 en días soleados. (Elaboración propia).



Figura 46: Diferencia de temperatura ( $T_i - T_e$ ) en el módulo experimental con cubierta de zinc pintada de blanco en diferentes orientaciones. (Elaboración propia). Todo sol 12 – 19 junio 2015

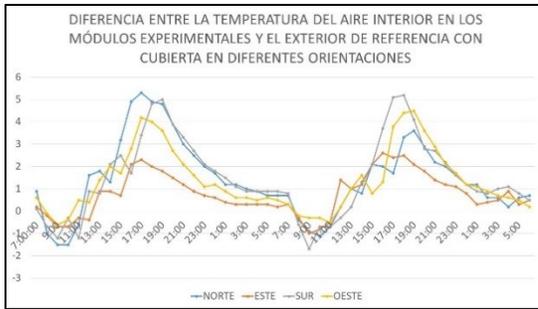


Figura 47: Diferencia de temperatura ( $T_i - T_e$ ) en el módulo experimental con cubierta de cady en diferentes orientaciones. (Elaboración propia). 20 – 27 junio 2015 todo sol

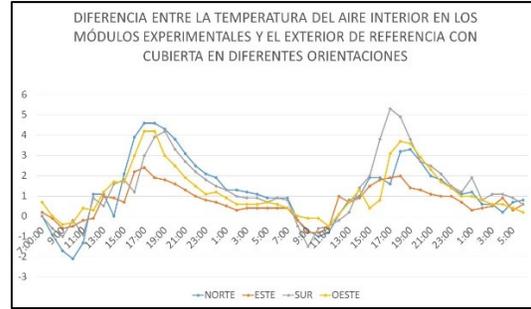


Figura 48: Diferencia de temperatura ( $T_i - T_e$ ) en el módulo experimental con cubierta de estilpanel en diferentes orientaciones. (Elaboración propia). 20 – 27 junio 2015 todo sol.



Figura 49: Diferencia de temperatura ( $T_i - T_e$ ) en el módulo experimental con cubierta de estilpanel con superficie blanca en diferentes orientaciones. (Elaboración propia). 20 – 27 junio 2015 todo sol

### Reducción de la temperatura del aire interior con el empleo de superficie exterior blanca

Aunque la reflectividad de la pintura blanca es ligeramente menor que la de las superficies brillosas de los elementos de duratecho y estilpanel, pero algo superior que el zinc y el asbestocemento, se decidió verificar su efecto en los cuatro tipos de cubiertas ligeras estudiados (el zinc, el estilpanel, el duratecho y el asbesto cemento). Como puede apreciarse, y según lo esperado, los resultados son prácticamente iguales en el estilpanel y el duratecho, con sus superficies originales brillosas y pintadas de blanco. Sin embargo, en días nublados, en el zinc pintado de blanco la temperatura interior se reduce en aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  en el horario de la tarde, que es cuando el calor y la radiación solar son más intensos, mientras que la pintura blanca en la cubierta de asbesto cemento permite reducir en hasta  $2^{\circ}\text{C}$  la temperatura interior en ese mismo horario. (Figuras 50 – 53).

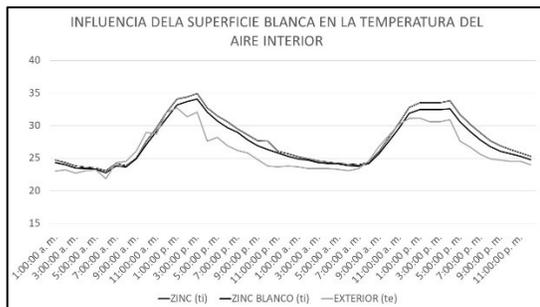


Figura 50: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc y zinc con superficie exterior blanca, según mediciones realizadas en junio de 2017 en días soleados. (Elaboración propia).

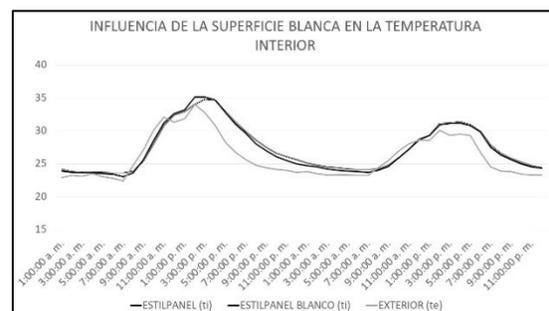


Figura 51: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de "estilpanel" y "estilpanel" con superficie exterior blanca, según mediciones realizadas en junio de 2015 en días soleados. (Elaboración propia).

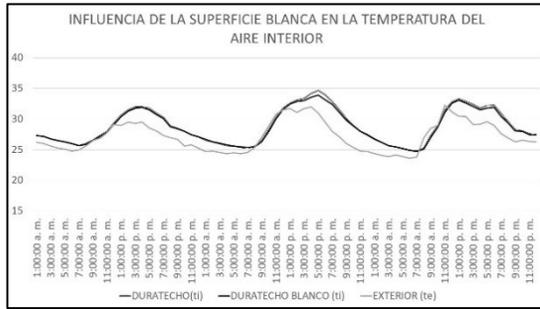


Figura 52: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de duratecho y duratecho con superficie exterior blanca, según mediciones realizadas en marzo de 2016 en dos días soleados y uno nublado. (Elaboración propia).

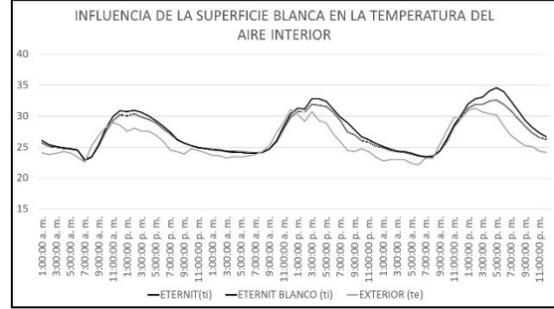
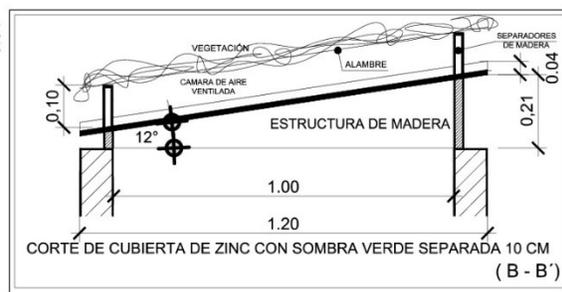
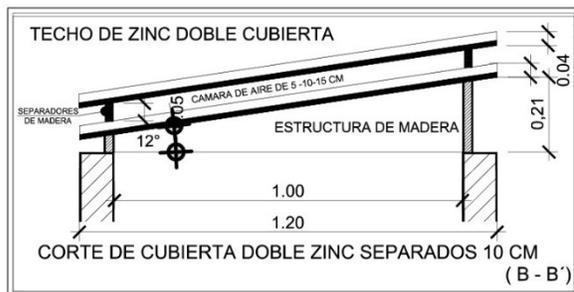


Figura 53: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de eternit y eternit con superficie exterior blanca según mediciones realizadas en abril de 2016, en días soleados. (Elaboración propia).

### Reducción de la temperatura del aire interior con el empleo de doble cubierta ventilada y doble cubierta verde

Aunque la cubierta de hormigón armado no es tradicional en la vivienda vernácula ni en la popular, ni tampoco en la de interés social, las personas la prefieren como símbolo de estatus económico y social, de manera que en cuanto tienen la posibilidad, sustituyen la cubierta de zinc por una de hormigón armado, de mayor costo y más duradera.

Es por ello que también se decidió incluir losas de hormigón armado de 15 cm y 20 cm de espesor en los módulos experimentales, así como una doble cubierta de zinc separada 50 cm de la losa de 15 cm de espesor, y una doble cubierta verde, también separada a 50 cm de la losa de hormigón armado de 20 cm de espesor. Como las mediciones fueron realizadas en diferentes momentos, por la cantidad de equipos disponibles, la comparación se hace en este caso a partir de las diferencias de las temperaturas interiores y exteriores registradas simultáneamente en cada ensayo.



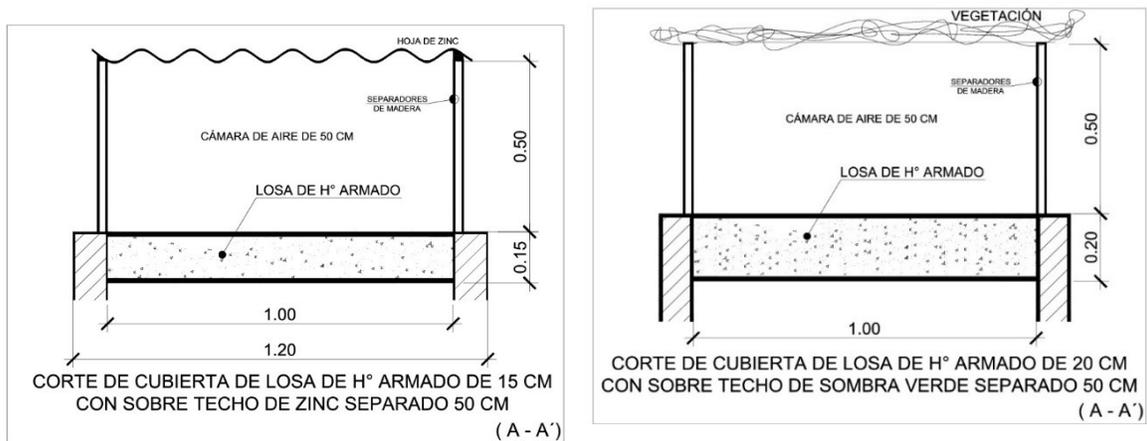


Figura 54: Soluciones de doble cubierta ensayadas en el módulo experimental. (Elaboración propia)

Como puede apreciarse, a pesar de que la transferencia térmica del zinc es superior a la del hormigón las losas de hormigón armado de 15 cm y 20 cm de espesor generan una temperatura interior superior a la cubierta de zinc, desde las 2:00 pm hasta las 9:00 pm, llegando a ser mayor en más de 3,5°C a las 7:00 pm, como consecuencia del retraso térmico del hormigón.

Esta situación puede mejorar cuando se proyecta sombra sobre la cubierta, ya sea con una doble cubierta de zinc o verde, con resultados similares en ambos casos. Durante el primer día de mediciones, la reducción de la temperatura llegó a ser de hasta casi 2°C a las 7:00 pm, pero las temperaturas interiores pueden llegar a ser hasta 1.5°C superiores con respecto a la cubierta de zinc durante la noche y la madrugada (Figura 55). Esto demuestra que arrojando sombra sobre la cubierta de hormigón armado es posible mejorar su comportamiento térmico, pero que, aun así, la cubierta de zinc ofrece mejores condiciones térmicas interiores.

A pesar de ello, y a partir de lo recomendado en la literatura internacional, se decidió experimentar con doble cubierta de zinc y diferentes dimensiones de la cámara de aire ventilada (5 cm, 10 cm y 15 cm), así como una doble cubierta verde, separada a 10 cm de la cubierta de zinc. El análisis comparativo también se realiza en este caso a partir de la diferencia de las temperaturas interior y exterior medidas simultáneamente.

Como puede apreciarse en la (Figura 56), todas las soluciones de doble cubierta producen una reducción de la temperatura del aire interior, fundamentalmente en horas de la tarde. Aunque las diferencias varían, por lo cual no son significativas, la doble cubierta con cámara de aire ventilada de 5 cm de espesor se presenta como la mejor opción, con diferencias de hasta 2°C en horas de la tarde.



## Reducción de la temperatura del aire interior con la adición de morteros elaborados con materiales de baja conductividad colocados sobre la cubierta de zinc

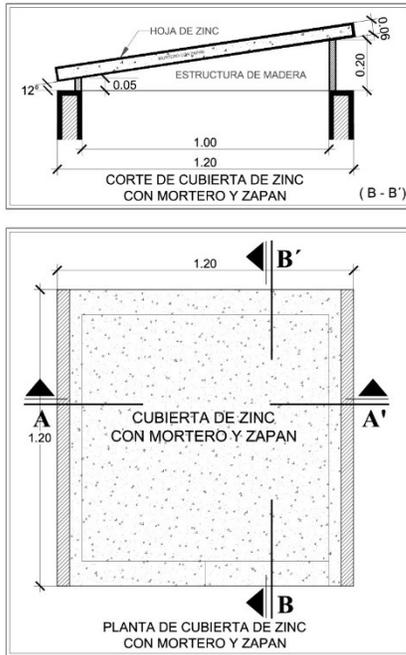


Figura 57: Vista superior y cortes de la cubierta de zinc con mortero superior añadido en el módulo experimental (Elaboración propia)

En los módulos experimentales se realizaron mediciones simultáneas de la temperatura del aire interior con respecto a un exterior cercano de referencia, con diferentes materiales de cubierta. Partiendo de que las láminas de zinc son el elemento de construcción más empleado, por su disponibilidad y costo y con un mejor comportamiento relativo, se verificó la influencia en la temperatura interior, adicionando encima de la lámina de zinc cady y morteros elaborados con diferentes materiales locales disponibles que pudieran contribuir a mejorar su comportamiento.

Como se observa en la (Figura 58) que recoge las temperaturas medidas simultáneamente, la adición de cady, que es la fibra vegetal tradicionalmente empleada en la vivienda vernácula, contribuye a reducir la temperatura del aire interior en hasta 2°C con respecto al zinc en día soleado, en el horario de la tarde, cuando la temperatura exterior es más alta, ya que la conductividad del cady es mucho más baja que la del zinc.

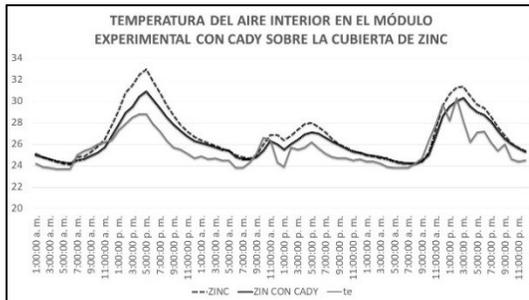


Figura 58: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cady en la parte superior, según mediciones realizadas en marzo de 2016. Primer y tercer día soleado, primera noche y segundo día de lluvia. (Elaboración propia)

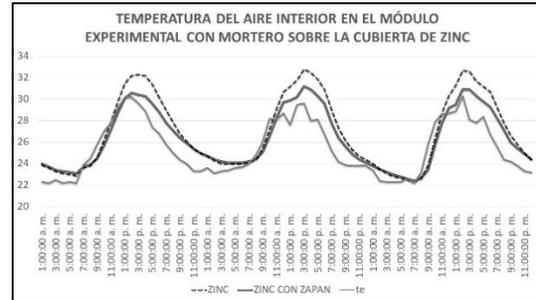


Figura 59: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con zapán sobre la cubierta de zinc, según mediciones realizadas en abril de 2016, en días soleados. (Elaboración propia).

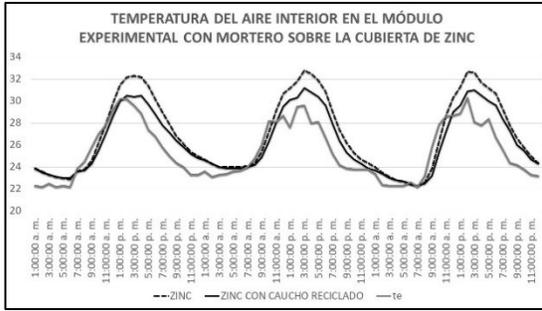


Figura 60: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con caucho reciclado sobre la cubierta de zinc, según mediciones simultáneas realizadas en abril de 2016 en días soleados. (Elaboración propia).

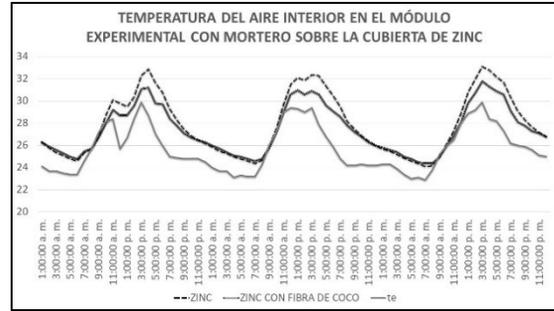


Figura 61: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con fibra de coco sobre la cubierta de zinc, según mediciones simultáneas realizadas en abril de 2016, en días nublados con noches de lluvia. (Elaboración propia).

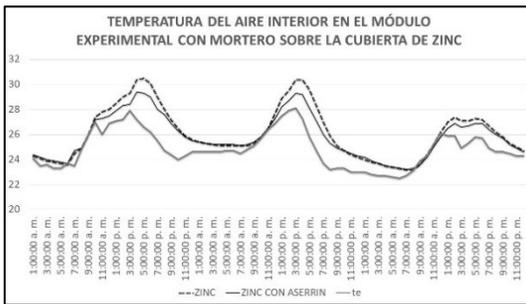


Figura 62: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con aserrín sobre la cubierta de zinc, según mediciones simultáneas realizadas en abril de 2016, durante dos días nublados, así como las noches y el tercer día de lluvia. (Elaboración propia).

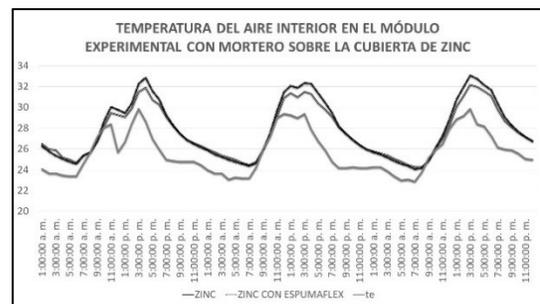


Figura 63: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con poliespuma sobre la cubierta de zinc, según mediciones simultáneas realizadas en abril de 2016 durante tres días nublados y con noches lluviosas. (Elaboración propia).

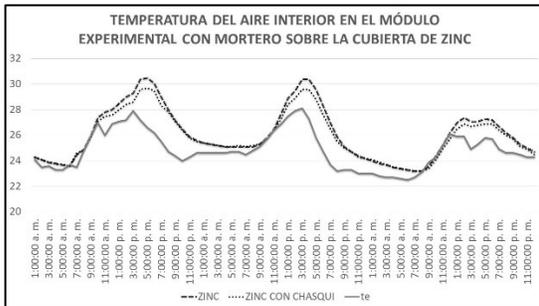


Figura 64: Temperatura interior en el módulo experimental adicionando mortero con chasqui sobre la cubierta de zinc, según mediciones simultáneas realizadas en abril de 2016, durante dos días nublados con noches y un tercer día lluvioso. (Elaboración propia).

Resultados similares se obtienen con la adición de un mortero elaborado con zapán encima de la cubierta de zinc, ya que este material también presenta una conductividad baja, por lo cual el mortero empleado debe tener una conductividad menor que un mortero común. El zapán es una fibra vegetal proveniente del tallo de la planta de plátano, y por tanto, muy abundante en la zona. Este mortero también llega a producir una reducción de la temperatura interior cercana a 2°C a las 4:00 la tarde (Figura 59).

El caucho proveniente de los neumáticos de los vehículos, es un desecho altamente nocivo que conviene reciclar, razón por la cual también se experimentó adicionando caucho picado a un mortero colocado en la parte

superior de la cubierta de zinc, lo cual produjo una reducción de la temperatura del aire interior en el módulo experimental de entre 1,5°C y 2°C (Figura 60).

La fibra de coco es también un material de desecho abundante en la zona. Como puede observarse en la figura 61, su adición en un mortero colocado sobre la cubierta de zinc también ocasiona una reducción de la temperatura del aire interior, ligeramente inferior a la producida por el cady, posiblemente porque las mediciones simultáneas fueron realizadas en días nublados con noches lluviosas, a pesar de lo cual también casi llega a alcanzar 2°C durante la tarde.

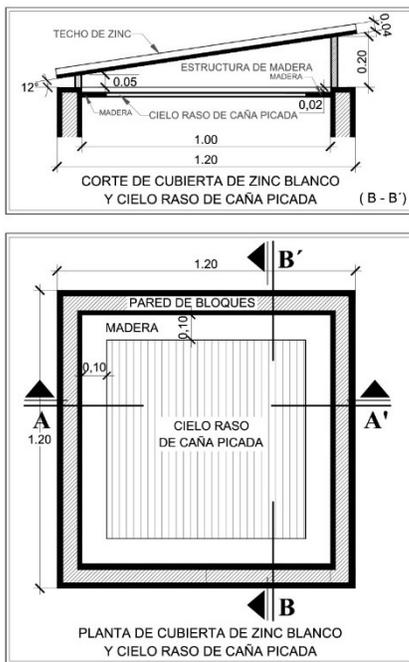
Cuando en la parte superior de la cubierta de zinc se agrega un mortero con aserrín, que es otro material de desecho abundante en la zona, también se produce una reducción de la temperatura del aire interior en el horario de la tarde, pero en menor medida que en los casos anteriores, con una disminución de la temperatura interior que puede llegar a ser ligeramente superior a 1°C, por la misma razón que en el caso anterior, ya que las mediciones simultáneas fueron realizadas en días nublados y lluviosos (Figura 62).

La adición de poliestireno expandido o espuma-flex como material aislante en un mortero colocado sobre la cubierta de zinc sin embargo, no surte el mismo efecto que las fibras vegetales anteriores, alcanzando reducciones máximas de sólo 1°C a las 4:00 la tarde, ya que estas mediciones simultáneas también fueron desarrolladas en tres días nublados con noches lluviosas (Figura 63).

Los resultados indican que la adición de elementos como morteros elaborados con fibras naturales u otros componentes sobre la cubierta de zinc siempre mejora su comportamiento térmico. Los mejores desempeños correspondientes al cady, el zapán y el caucho reciclado coinciden con las mediciones realizadas en días soleados ( $\Delta t$  de hasta 2°C), mientras que en días nublados y de lluvia, las reducciones que se obtienen con aserrín, poliespuma y chasqui, sólo llegan a 1°C. No obstante, el mortero con fibra de coco sobre la cubierta llega a reducir la temperatura en hasta 2°C aun en días nublados y lluviosos.

### **Reducción de la temperatura del aire interior con la adición de cielorraso con materiales de baja conductividad por debajo de la cubierta de zinc**

Es costumbre en esta región, adicionar cielorraso a la cubierta inclinada de láminas de zinc, no para mejorar el ambiente interior, sino por razones estéticas, es decir, para disponer de un techo plano que oculte la estructura en el interior de las viviendas. Teniendo eso en cuenta, se realizaron mediciones en los módulos experimentales, adicionando a la tradicional cubierta de zinc, cielorraso interior elaborado con diferentes materiales de baja conductividad, y localmente disponibles o reciclables.



La experimentación con elementos de cielorraso comenzó comparando la cubierta de zinc con otra cubierta de zinc pintada de blanco y otra similar a la cual se le añadió un cielorraso de caña picada. La caña guadua es una fibra vegetal empleada en las paredes de la vivienda vernácula, y por tanto, disponible localmente. (Figura 66).

Figura 65: Planta y cortes de la cubierta de zinc con cielorraso en el módulo experimental. (Elaboración propia)

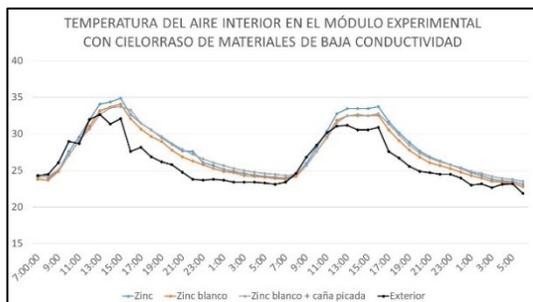


Figura 66: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc, zinc blanco y zinc blanco con cielorraso de caña picada. El zinc y el zinc blanco fueron medidos simultáneamente en marzo de 2016 y el zinc blanco con cielorraso de caña picada había sido medido en junio de 2015, todos en días soleados (Elaboración propia).

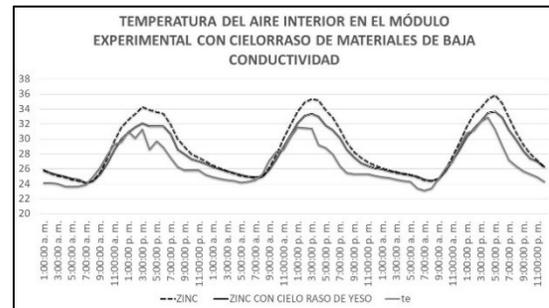


Figura 67: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de yeso, según mediciones simultáneas realizadas en marzo de 2016, un primer día de lluvia y otros dos soleados. (Elaboración propia).

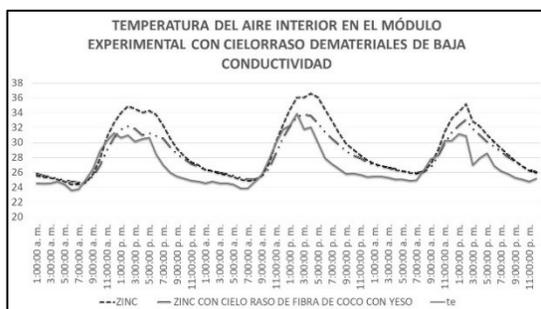


Figura 68: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de yeso, según mediciones realizadas en marzo de 2016 en días soleados con una última tarde de lluvia. (Elaboración propia).

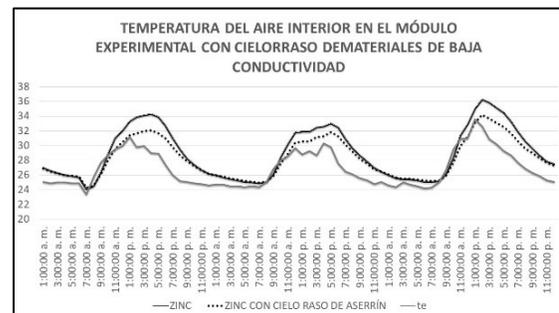


Figura 69: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de aserrín, según mediciones simultáneas realizadas en marzo de 2016, en días soleados con una última noche de lluvia. (Elaboración propia).

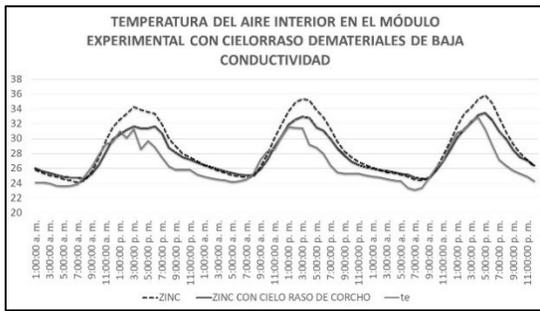


Figura 70: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de corcho, según mediciones simultáneas realizadas en marzo de 2016, un primer día de lluvia y los otros dos soleados. (Elaboración propia).

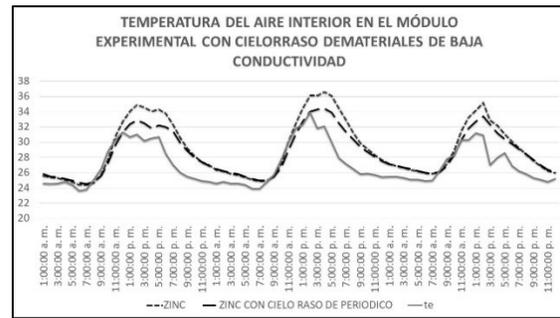


Figura 71: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de periódico, según mediciones simultáneas realizadas en marzo de 2016 en días soleados, con una última tarde de lluvia. (Elaboración propia).

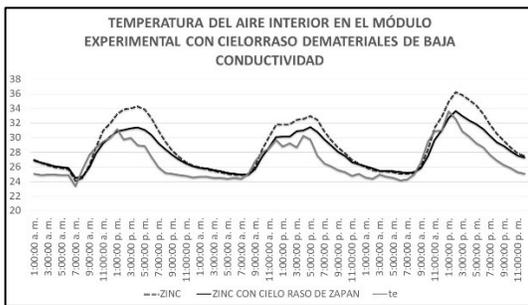


Figura 72: Temperatura interior en el módulo experimental con cubierta de zinc con cielorraso de zapán, según mediciones realizadas en marzo de 2016 en días soleados con la última noche de lluvia. (Elaboración propia).

En todos los casos, la temperatura interior es superior a la exterior en el horario de la tarde, noche y madrugada. Con la superficie blanca se producen ligeras reducciones de la temperatura interior respecto al zinc sin pintar, que pueden llegar hasta 1°C en el horario crítico del mediodía. Sin embargo, la adición de un cielorraso de caña picada, tal como tradicionalmente se usa, bajo la cubierta de zinc pintada de blanco, prácticamente no produce ningún efecto en la reducción de la temperatura interior

El yeso es un material tradicionalmente empleado en Portoviejo como cielorraso y efectivamente, según las mediciones realizadas en los módulos experimentales, produce una reducción de la temperatura interior de hasta 2°C entre las 3:00 pm y las 4:00 pm, con independencia de que se trate de un día nublado o soleado, a pesar de que su conductividad no es tan baja como los otros materiales usados en la experimentación del cielorraso (Figura 67). El resto de los ensayos en el módulo experimental se hicieron añadiendo a la cubierta de zinc diferentes soluciones de cielorraso con materiales alternativos disponibles localmente.

Sin embargo, colocando fibra de coco sobre el cielorraso de yeso, se incrementa la reducción de la temperatura interior con respecto a la exterior de referencia en más de 2°C entre las 2:00 pm y las 6:00 pm en días soleados (Figura 68), lo cual era de esperar, ya que la fibra de coco tiene una conductividad inferior, por lo cual mejora el comportamiento del yeso. Algo similar ocurre con la adición de un cielorraso de aserrín, cuya conductividad es baja, sobre una malla textil, que permite reducir la temperatura del aire interior durante toda la tarde, llegando hasta 2°C entre las 2:00 pm y las 4:00 pm en días soleados (Figura 69).



### **Resumen de la influencia de los materiales de construcción de la cubierta en la temperatura interior**

El zinc es el material de cubierta más tradicional, abundante y económico en la región, sin embargo, su comportamiento térmico no es bueno, ya que genera valores de temperatura interior muy superiores a la exterior, de hasta 4°C en horas de la tarde, cuando éstas son más elevadas. No obstante, su comportamiento es mejor que el de las restantes cubiertas ensayadas, metálicas, de asbestocemento, de barro y de hormigón.

Se ha podido comprobar que la adición sobre la cubierta de zinc de morteros elaborados con recursos locales disponibles de baja transferencia térmica, como fibras vegetales (zapán, fibra de coco), materiales de desecho (caucho de neumáticos, aserrín) u otros disponibles (chasqui y espuma-flex), puede contribuir a reducir la temperatura interior en hasta 2°C en los momentos más críticos de la tarde. Sin embargo, como era de esperar, el empleo de superficie exterior blanca, no solo en la cubierta de zinc, sino en otros elementos metálicos como el duratecho, el estilpanel, e incluso el asbesto cemento que es donde se registran las mayores reducciones, no reporta ventajas significativas, con disminuciones de la temperatura interior sólo puntuales en los momentos más críticos, e inferiores a 1°C.

No obstante, los mejores resultados se obtienen con la adición de cielorraso interior por debajo de la cubierta de zinc, con esos mismos materiales alternativos, que presentan un comportamiento mejor que el tradicional cielorraso de yeso que comúnmente se usa por razones estéticas. Tal es el caso de un cielorraso de zapán, que es un material natural que constituye un desecho abundante en la región, y que permite una reducción de la temperatura interior en hasta 3°C cuando se producen las máximas exteriores.

El comportamiento de la cubierta de zinc también puede mejorarse con una doble cubierta ventilada del propio material, sin embargo, esta solución arroja una reducción de la temperatura interior similar a otras experimentadas con inferior costo. La cubierta más desfavorable y de mayor costo es la de hormigón armado, con independencia de su espesor, aunque puede lograrse una ligera mejoría cuando ésta está sombreada.

Se comprueba que, en la latitud de Portoviejo, con la trayectoria solar casi simétrica al norte y al sur y el empleo de cubiertas a dos aguas, la orientación no es una variable decisiva en el ambiente térmico interior. No obstante, las cubiertas ligeras inclinadas y orientadas al oeste generan temperaturas del aire interior superiores en horas de la tarde y la noche, por lo cual, en la medida de lo posible se debería procurar ubicar las habitaciones de dormir que se usan fundamentalmente de noche, bajo cubiertas orientadas al este.

### 3.1.5. Correlación entre los resultados de las mediciones en las viviendas y en los módulos experimentales

Con vistas a verificar la influencia de la escala de los módulos experimentales en los resultados del ensayo, se compararon los resultados horarios de las temperaturas interiores registradas en las viviendas reales medidas, con las temperaturas horarias obtenidas en todos los módulos experimentales con cubierta de zinc, mediante un procesamiento estadístico de los datos en ambos casos, empleando en software Statgraphics. Como las mediciones fueron asincrónicas, la comparación se realizó empleando la diferencia entre la temperatura interior medida (en la vivienda y en el módulo) y el exterior de referencia registrado simultáneamente.

En la (Figura 74) se muestra la correlación entre los histogramas de las diferencias de temperaturas horarias ( $t_i - t_e$ ) registradas en las viviendas y en los módulos experimentales en relación con su respectivo exterior de referencia. A pesar de que en la temperatura interior de las viviendas interviene una mayor diversidad de variables, éstas presentan un menor rango de variación con respecto al exterior que los módulos, donde la amplitud de los registros aumenta a partir del mediodía.

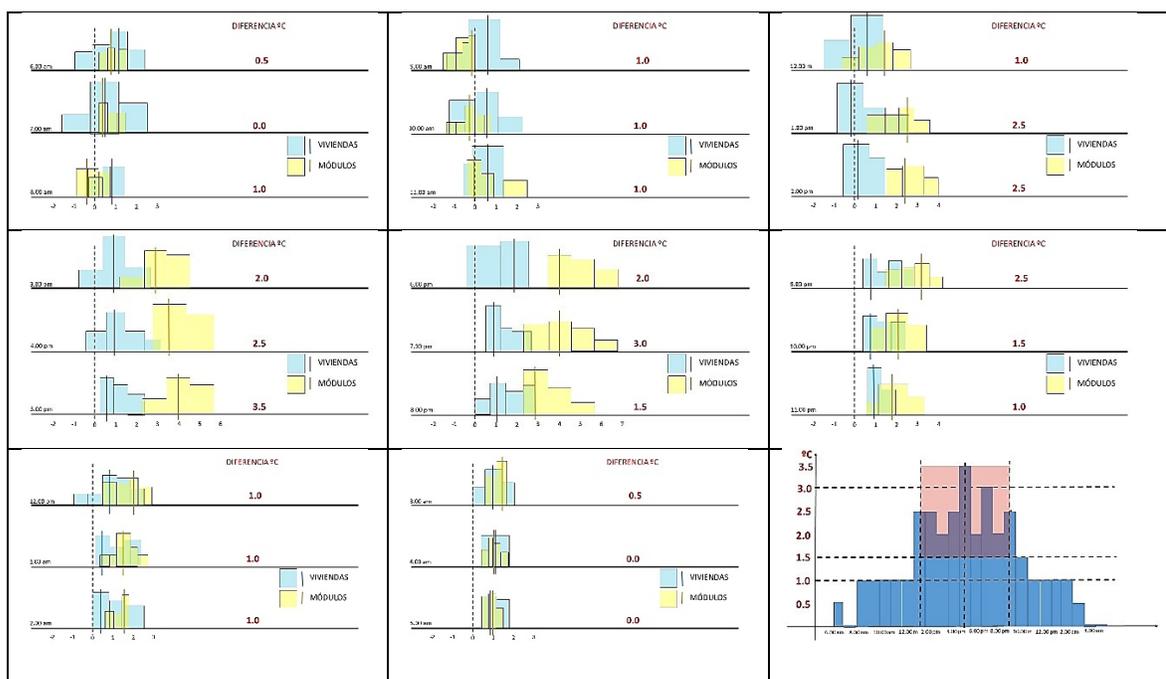


Figura 74: Combinación de los Histogramas de distribución de los valores de la diferencia de la temperatura interior con respecto a la exterior, medida en las viviendas reales y en los módulos experimentales unitarios con cubierta de zinc. (Elaboración propia)

En la noche, madrugada y mañana (de las 11:00 pm a las 12:00 am, los valores de los módulos se concentran y quedan comprendidos dentro del rango de las viviendas, con diferencias de hasta 1°C en el punto medio del

rango predominante, siendo mayor en los módulos. Entre la 1.00 y las 9.00 pm, la temperatura interior en los módulos resulta aún más elevada con respecto al exterior, que en las viviendas, con diferencias del  $\Delta t$  entre 1,5 °C y 2,5 °C, pudiendo llegar a 3 °C a las 7.00 pm y el máximo valor de 3,5 °C se alcanza a las 5:00 pm.

Este período (de 1:00 a 9:00 pm) en el cual la diferencia entre la temperatura medida en los módulos con respecto a su exterior es mayor en más de 1 °C que la medida en las viviendas, coincide en 6 de las 8.5 horas en las cuales se ha asumido que los habitantes de las viviendas están sometidos a condiciones térmicas extremas (de 10:30 am a 7:00 pm), lo cual indica que las temperaturas medidas en los módulos experimentales sobredimensionan las temperaturas a las cuales estarían sometidas las personas durante ese período. Esto puede ser consecuencia del calor aportado por las paredes asoleadas, pues a pesar de que su influencia no es significativa en la vivienda, su efecto se incrementa en ese reducido espacio de 1 m<sup>2</sup>.

Las soluciones alternativas propuestas producen una reducción de la temperatura interior en los módulos experimentales con respecto a la cubierta de zinc ensayada en los mismos módulos. Por tanto, los resultados son comparables en igualdad de condiciones, aunque el efecto de escala verificado podría significar que las reducciones reales serían ligeramente inferiores a las registradas en el ensayo.

### **3.2. Soluciones técnico - constructivas para reducir la transferencia térmica en cubiertas**

A partir de los resultados de la investigación en módulos experimentales, donde las mejores soluciones en cuanto a reducción de la temperatura interior se obtuvieron con la adición a la tradicional cubierta de zinc de elementos de cielorraso elaborados con materiales no convencionales, se procedió al diseño de soluciones constructivas factibles, empleando aquellos materiales que resultaron más efectivos: zapán, periódico, aserrín, fibra de coco. También se ofrecen soluciones a partir de la colocación de morteros sobre la cubierta de zinc, elaborados a partir con zapán, fibra de coco, aserrín, chasqui, caucho reciclado y espuma flex.

#### **3.2.1. Cielorraso**

Partiendo del módulo espacial interior del proyecto típico de vivienda MIDUVI (2,70m X 2,70m), se estableció una modulación de 0,53m X 0,53m para las piezas de cielorraso (Figura 76), que se apoyan a elementos lineales unidos al cerramiento, los cuales pueden ejecutarse de madera, plástico reciclado o metal reciclado (Figura 75).

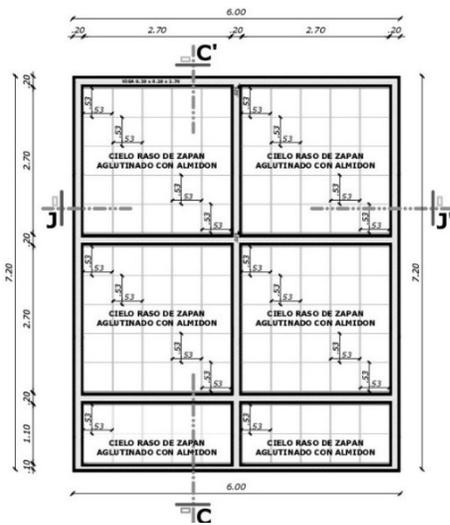


Figura 75: Detalle de elementos lineales (Elaboración propia). 30 enero 2019



Figura 76: Módulo espacial interior de la vivienda MIDUVI (2,70 X 2,70) con piezas de cielo raso de 0,53 x 0,53. (Elaboración propia). 30 enero 2019

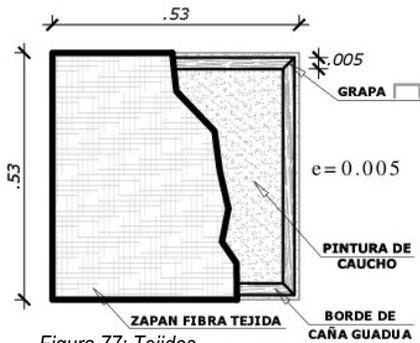


Figura 77: Tejidos

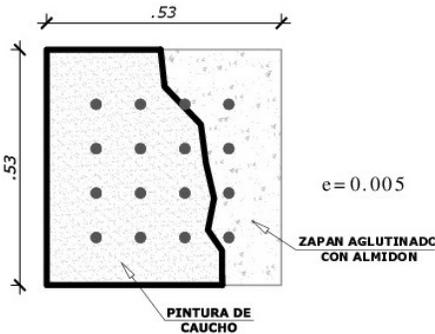


Figura 78: Aglomerados

## Tejidos

Partiendo de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en los módulos experimentales, e intentando aprovechar al máximo las ventajas térmicas de las fibras naturales, así como la tradición artesanal local en la realización de tejidos con esas fibras, se propone una variante de cielorraso a partir de un elemento tejido elaborado con zapán o con fibra de coco (Figura 77).

## Aglomerados

Otras variantes de cielorraso se han desarrollado a partir de los materiales locales ensayados, pero mediante la elaboración de elementos aglomerados con almidón de yuca, que es también un material natural disponible localmente. En este caso se pueden emplear el zapán y la fibra de coco, pero también periódico y aserrín

Todas las variantes de elementos de cielorraso pueden elaborarse en pequeños talleres artesanales que generen puestos de trabajo y fuentes de ingreso para la población local de menores recursos. También, a mediano y largo plazo, podrían montarse producciones industriales a mayor escala.

Por otro lado, el cielorraso podría ser ejecutado desde el inicio de la entrega de la vivienda, o pudiera ser elaborado posteriormente de forma progresiva por parte de los propios habitantes, en función de sus posibilidades y prioridades.

### 3.2.2. Morteros encima de la cubierta de zinc

A partir de los resultados de las mediciones desarrolladas en los módulos experimentales, también se ha propuesto la adición de morteros sobre el techo de zinc, empleando algunos de los materiales locales disponibles como zapán, fibra de coco, aserrín, chasqui, caucho reciclado y espumaflex, con una dosificación de 1:2:2 (cemento: arena: zapán) y un espesor de 2 cm encima la cubierta de zinc y 4 cm en la ondulación. (ver Figura)

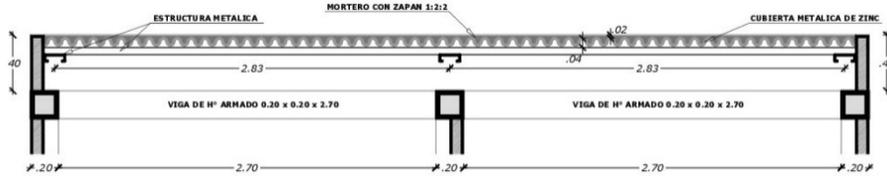


Figura 79: Mortero sobre techo de zinc (Elaboración propia)

### 3.3. Análisis costo – beneficio del ciclo de vida

Las bases para la estimación de los costos del ciclo de vida de cada una de las soluciones propuestas aparecen detalladas en el (Anexo 7), e incluyen los costos de adquisición o extracción (material, mano de obra y transporte), de elaboración del elemento (materiales y mano de obra), de colocación en obra (materiales, transporte y mano de obra), y de mantenimiento, en función de la durabilidad asumida para cada material y elemento, todo para una vida útil de la vivienda estimada en 60 años. Así se obtuvo el costo global y el costo anual de cada solución alternativa propuesta, tanto el valor total como unitario por m<sup>2</sup>.

#### 3.3.1. Costo global de las soluciones en el ciclo de vida

COSTOS UNITARIOS /M2 DE SUPERFICIE ÚTIL											
CELO RASO	TEJIDO	SOLITADA	FIBRA DE MADERA	FIBRA DE PLÁSTICO RECLADO	FIBRA DE ALMIDÓN	COSTO INICIAL DE ELABORACIÓN POR M2	COSTO MANTENIMIENTO VIDA ÚTIL	COSTO GLOBAL	COSTO ANUAL	COSTO INICIAL TOTAL (M2 ANUAL)	
ZAPÁN	[X]	[X]	[X]	[X]	[X]	ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
						ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
						ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
						ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
						ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
						ELABORACION 1.02	175	280.00	280.00	4.91	275.07
FIBRA DE COCO	[X]	[X]	[X]	[X]	[X]	ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
PERIBOCO	[X]	[X]	[X]	[X]	[X]	ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
ASERRIN	[X]	[X]	[X]	[X]	[X]	ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15
						ELABORACION 1.02	1234	473.00	482.44	8.21	488.15

En la tabla 12 aparece un resumen de los costos estimados para los elementos de cielorraso.

Atendiendo al costo anual, las soluciones a base de tejidos de fibras naturales son las más económicas, con un valor inferior a \$ 5,00 por m<sup>2</sup>, especialmente el de zapán, con independencia del material de la soportería, que introduce pocas variaciones en el costo, aunque la madera es ligeramente más costosa, por los requerimientos de mantenimiento.

De las soluciones aglomeradas a base de almidón de yuca, la más económica es la que aprovecha y recicla el papel periódico.

Tabla 12: Resumen de costos estimados para elementos de cielorraso

En cualquier caso, el costo inicial de ejecución las soluciones de cielorraso propuestas para toda la vivienda alcanzan un costo de entre \$ 250,00 y \$ 500,00

Tabla 13: Resumen de costos estimados para los morteros colocados sobre la cubierta de zinc.

COSTOS UNITARIOS /M2 DE SUPERFICIE UTIL							
MORTERO	COSTO INICIAL DE EJECUCIÓN POR M2	COSTO INICIAL M2	COSTO DE MANTENIMIENTO VIDA UTIL	COSTO GLOBAL	COSTO ANUAL	COSTO INICIAL TOTAL/VIVIENDA (43,20 M2)	
ZAPAN	ADQUISICION	3,37	4,76	411,00	415,76	6,93	205,63
	COLOCACION EN OBRA	1,39					
FIBRA DE COCO	ADQUISICION	3,37	4,76	411,00	415,76	6,93	205,63
	COLOCACION EN OBRA	1,39					
ASERRÍN	ADQUISICION	3,31	4,70	406,20	410,90	6,85	203,04
	COLOCACION EN OBRA	1,39					
CHASQUI	ADQUISICION	7,37	8,76	756,60	765,36	12,76	378,43
	COLOCACION EN OBRA	1,39					
CAUCHO RECICLADO	ADQUISICION	3,25	4,64	400,80	405,44	6,76	200,45
	COLOCACION EN OBRA	1,39					
ESPUMAFLEX	ADQUISICION	4,75	6,14	530,40	536,54	8,94	265,25
	COLOCACION EN OBRA	1,39					

El costo anual por m<sup>2</sup> de los morteros que se adicionan sobre la cubierta tiene un valor más uniforme en todas las variantes, que se sitúa entre los extremos de los cielorrasos. No obstante, la solución más cara es la que emplea el chasqui, que es un material de la sierra, seguida de espumaflex.

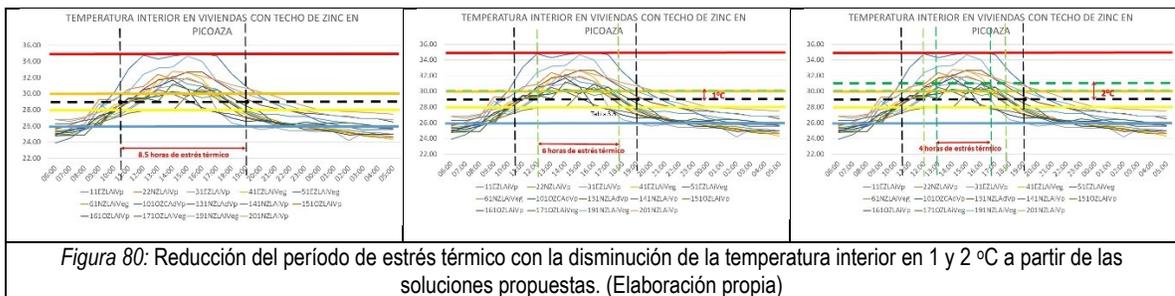
El costo total inicial de ejecución es relativamente barato (entre \$200,00 y \$250,00) y favorece la reducción del costo anual del techo de zinc a lo largo de su vida útil (\$13,25), pues incrementa su durabilidad.

### 3.3.2. Beneficios de las soluciones propuestas

A partir de los resultados de las mediciones realizadas en los módulos experimentales con las soluciones alternativas propuestas, se encontró que algunas como el mortero con aserrín sobre la cubierta de zinc permite una reducción de hasta 1°C de temperatura en los momentos críticos, mientras que otras como los morteros con caucho, fibra de coco y zapán, así como los cielorrasos de fibra de coco, aserrín y periódico permiten una reducción de temperatura de hasta 2°C. Por último, el mejor desempeño lo muestra el cielorraso de zapán, que permite una reducción de temperatura de hasta 3°C.

A pesar de que la correlación estadística entre las temperaturas medidas en las viviendas y en los módulos experimentales con techo de zinc arrojan valores superiores en estos últimos durante parte del período identificado como de estrés térmico, estas mediciones fueron realizadas en igualdad de condiciones, tanto para la cubierta de zinc como para las soluciones alternativas propuestas que arrojan las reducciones de los valores máximos antes mencionados. Entonces, para estimar los beneficios que estas reducciones de la temperatura interior pueden significar en la disminución del período de estrés térmico estimado, se consideró la elevación de los valores de temperaturas admisibles asumidas como equivalente a la reducción de las temperaturas reales medidas en los interiores de las viviendas.

Al igual que para la estimación del período en que los habitantes de las viviendas están sometidos a condiciones de calor extremo, el análisis de su posible reducción con las soluciones alternativas propuestas, se realizó primero de forma gráfica (Figuras 80), lo cual fue posteriormente corroborado con el procesamiento estadístico. Para ello, se consideraron en los histogramas de distribución de los valores de la temperatura del aire interior, el momento (hora) a partir del cual más del 70% de los valores se encontraban por encima o por debajo de 30°C cuando sus valores estaban por encima ( $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ ) y 31°C ( $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ ) (Figura 80). La mayor frecuencia de valores registrados por encima de 32°C, correspondientes a  $\Delta t = 3^\circ\text{C}$  fue de 52% a las 2:00 pm, razón por la cual, este valor no fue considerado, lo cual significa que en caso de obtenerse reducciones de la temperatura interior de hasta 3°C, es probable que aproximadamente la mitad de las viviendas no sometan a sus habitantes a condiciones de calor extremo durante la tarde.



Como resultado se tiene que cuando la temperatura interior se reduce en 1°C, el período de estrés térmico disminuye en aproximadamente 2.5 horas, quedando reducido a 6 horas. Cuando la reducción de la temperatura es de 2°C, el estrés térmico disminuye en aproximadamente 4,5 horas, quedando reducido a 4 horas, mientras que cuando la disminución es de hasta 3°C, el estrés térmico puede llegar a ser de sólo 3 horas, entre la 1:00 pm y las 4:00 pm.

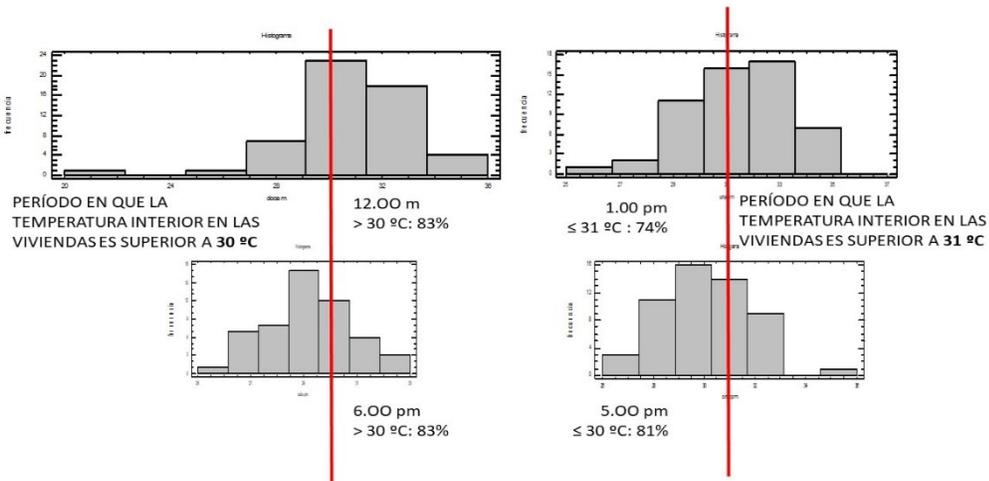


Figura 81: Histograma de distribución de los valores de la temperatura interior medida en viviendas, con predominio de valores superiores e inferiores a 30 y 31°C (Elaboración propia)

### 3.4. Conclusiones parciales

- La tradicional cubierta de zinc presenta condiciones intermedias de emisividad y absorptividad, pero una elevada transferencia térmica, lo cual la hace apropiada en horas de la noche por su rápido enfriamiento, pero calurosa durante el día.
- La diferencia de temperatura interior bajo una cubierta de zinc puede ser de hasta 2°C menor en un día lluvioso con respecto a uno nublado.
- Según los resultados de las mediciones realizadas en los módulos experimentales, el peor comportamiento térmico corresponde a los techos de hormigón armado, que pueden generar temperaturas interiores casi 8°C superiores al exterior.
- Por la latitud del Ecuador, la orientación de las cubiertas no influye significativamente en la temperatura interior, no obstante, en la orientación oeste se obtienen temperaturas interiores hasta 6°C superiores a la orientación este a las 5:00pm.
- Una doble cubierta de zinc permite reducir la temperatura interior en hasta 2°C y la mejor opción corresponde a una cámara de aire de 5 cm.
- Como resultado de los ensayos realizados, se proponen dos tipos de soluciones alternativas para mejorar el comportamiento térmico de las tradicionales cubiertas de zinc: cielorrasos con tejidos de fibras naturales o aglomerados con estas fibras y otros recursos reciclables, y morteros sobre la cubierta, elaborados con diversos recursos locales. Pueden ejecutarse desde el inicio, o realizarse posteriormente de forma progresiva por parte del usuario.
- Los morteros aplicados sobre la cubierta de zinc permiten reducciones de la temperatura interior de hasta 2°C.
- Los cielorrasos de materiales alternativos ensayados permiten reducir la temperatura interior con respecto a la cubierta de zinc en hasta 3°C en el caso del zapán.
- La temperatura interior en los módulos, de manera general es superior a las de las viviendas, efecto que se incrementa por encima de 1°C entre el mediodía y las 9:00 pm. Por tanto, las temperaturas medidas en los módulos experimentales sobredimensionan las condiciones térmicas a las cuales estarían sometidas las personas durante período de estrés térmico.
- Las soluciones propuestas presentan un costo anual de aproximadamente \$5,00 y permiten una reducción del período de estrés térmico entre 2.5 y 4.5 horas diarias.

## CONCLUSIONES FINALES

- Los estudios de calidad de la vivienda de interés social adquieren cada vez más importancia, particularmente el ambiente térmico interior, que se agrava en las zonas urbanas y como consecuencia del calentamiento global.
- Con independencia de los diversos indicadores para medir la sensación térmica, a partir de los resultados de investigaciones precedentes, es posible considerar 26°C de temperatura del aire interior como condición neutra de confort, más de 28°C como estrés térmico y falta de confort, y situaciones cercanas a los 35°C como de riesgo potencial para la salud.
- A partir de las variables de diseño arquitectónico que influyen en el ambiente térmico interior de la vivienda, el objeto de estudio de la presente investigación se ha enfocado en la vivienda de interés social periurbana unifamiliar aislada de una planta que construye MIDUVI con cubierta de zinc, y el énfasis va dirigido a la reducción del calor transmitido a través de la cubierta.
- Portoviejo presenta un clima cálido con una oscilación diaria de las temperaturas entre 8,1°C y 12,3°C, y amplia variación de la humedad relativa durante el día, con máximas por encima de 91% en horas de la madrugada, y mínimas entre 40% y 60% al mediodía. En el trabajo experimental de campo pudo constatarse el efecto de la isla de calor urbana en los sectores estudiados, con temperaturas superiores a la estación meteorológica de menos de 1°C en los barrios periféricos y hasta 4°C en las zonas más urbanizadas.
- Según los resultados de la investigación de campo en sectores donde predomina la vivienda social recientemente construida por MIDUVI, se ha comprobado que el ambiente térmico interior es desfavorable, y que los habitantes de las viviendas con techo de zinc permanecen expuestos a condiciones calurosas durante más de 8 horas al día.
- Según los resultados de las mediciones realizadas en los módulos experimentales, el peor comportamiento térmico corresponde a los techos de hormigón armado, que pueden generar temperaturas interiores casi 8°C superiores al exterior.

- Los morteros aplicados sobre la cubierta de zinc permiten reducciones de la temperatura interior de hasta 2°C, y los cielorrasos de materiales alternativos locales ensayados permiten reducir la temperatura interior con respecto a la cubierta de zinc en hasta 3°C en el caso del zapán.
- Las soluciones propuestas presentan un costo anual de aproximadamente \$5,00 y permiten una reducción de la exposición al estrés térmico de hasta 5,5 horas diarias.

## RECOMENDACIONES

- A los comités barriales de Portoviejo, que se brinde capacitación a las familias para que realicen las soluciones constructivas en sus viviendas
- Al Gobierno Autónomo Descentralizado de Portoviejo, se fomente en la comunidad la valorización de los materiales naturales, reusables y reciclables de nuestro medio.
- Al MIDUVI de acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación, se mejoren las cubiertas de las viviendas con cielorraso con morteros sobre el techo o cielorraso de las fibras naturales, para alcanzar mejores condiciones de habitabilidad.
- Al Gobierno Autónomo Descentralizado a través de los diferentes comités barriales se brinde talleres para la producción de elementos de cielorraso dirigido especialmente a las mujeres, dando así la oportunidad de generar diversas fuentes de empleo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acioli, C. (2015). *Conferencia en la Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo*. La Habana.
- Aditya, L., Mahlia, T. M., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S., & Aditiya, H. B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and sustainable energy reviews*, 73, 1352-1365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>.
- Aguila, O. (2009). Nuevo modelo de gestión integral local del programa de la vivienda para mejorar la calidad del hábitat. Tesis de Maestría en Vivienda Social. Facultad de Arquitectura, CUJAE, La Habana.
- Aislamiento contra el calor. La importancia de la inercia térmica <http://www.mundolignia.com/es/blog/aislamiento-contra-el-calor-la-importancia-la-inercia-t%C3%A9rmica> (Consultado el 26 de junio de 2017)
- Akyüs, M. K., Altuntas, O., & Sögüt, M. Z. (2017). Economic and environmental optimization of an airport terminal building's wall and roof insulation. *Sustainability*, 9, 1849. doi:10.3390/su9101849.
- Aleman, A. (1986). *Climatología, iluminación y acústica. Aplicación en la Arquitectura*. La Habana: Departamento de Ediciones ISPJAE.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Balaban, O., & Oliveira, J. A. (2017). Sustainable buildings for healthier cities: assessing the co-benefits of green buildings in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 163, S68-S78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.086>.
- Butera, F. (2014). *Sustainable Building Design for tropical climates. Principles and Application for Eastern Africa*. África: United Nations Human Settlements Programme.
- Calle, E. Viviendas y Aeropuerto. *El Diario Manabita*, (11 de Junio de 1977), pág. 9.
- Camino, S. M. (1998). *Evolución y características tipológicas de la vivienda en Manabí, Ecuador*. Tesis de Doctorado. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Carlucci, S., & Pagliano, L. (2012). A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. *Energy and Buildings*, 53, 194-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.015>
- Cedeño, G. (29 de Junio de 2015). Entrega de información por parte del Director Provincial Subrogante del Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda. (P. J. Véliz, Entrevistador)

- Ceung, S. S., Lee, J. K., & Oksa, J. (2016). Thermal stress, human performance, and physical employment standards. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(6), S148-S164. [dx.doi.org/10.1139/apnm-2015-0518](http://dx.doi.org/10.1139/apnm-2015-0518).
- Chang A. P.C., Song W. and Yang y. (2015). Meta-analysis of the effects of microclimate cooling systems on human performance under thermal stressful environments: Potential applications to occupational workers. *Journal of Thermal Biology*, 49 - 50, 16 - 32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.therbio.2015.01.007>.
- Chávez, M. M., Martínez, F. L., Cisneros, M. C., Rodríguez Rodríguez, L., Vidal, V. A., & Miranda, J. R. (2015). *Investigación experimental del comportamiento térmico de sistemas constructivos para cubierta*. El Salvador, Mayo, 2015. <https://www.researchgate.net>
- Chen, A., & Chang, V. W. (2012). Human health and thermal comfort of office workers in Singapore. *Building and Environment*, 58, 172-178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.004>.
- Chidambareswaran, S. (2005). *Mahoney Tables plus a tool for sketch design recommendations for e building*, California: University of Southern California. Disponible en: <http://digitallibrary.edu/cdm/fer/collection/p15799coll16/id/45199>
- Choi, J. H., & Yeom, D. (2019). Development of the data-driven thermal satisfaction prediction model as a function of human physiological responses in a built environment. *Building and Environment*, 150, 206 - 218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.007>.
- Claus, J. (2015). *Conferencia del presidente de ONU Hábitat en la Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo*. La Habana.
- Climatización en la Arquitectura. Disponible en: <http://www.portalhuarpe.com.ar/Medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2010/T1002Instalaciones%201/Navegable/Objetivos.html> (revisado el 26 de junio de 2017).
- Condori, M. (2013). *Transferencias de calor por radiación*. Universidad Nacional del Estado de Estero. Recuperado el 26 de 06 de 2017, de . <http://slideplayer.es/slide/1607233/> OK
- Deng, Q., Zhao, J., Liu, W., & Li, Y. (2018). Heatstroke at home: Prediction by thermoregulation modeling. *Building and Environment*, 137, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.017>.
- Diario Manabita. (1961). Portoviejo - Lunes 18 de septiembre. p. 10.
- Diario Manabita. (1978). Portoviejo - Domingo 12 de marzo. p. 25.
- Diario Manabita. (1989). Portoviejo - Domingo 7 de mayo. p. 21.
- Díaz, O. (2012). *La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana*. Catalunya: Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcpmmons.uc.edu.es>

- Din, M. F., Lee, Y. Y., Ponraj, M., Ossen, D. R., Iwao, K., & Chelliapan, S. (2014). Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. *Journal of thermal biology*, 41, 6-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.01.004>
- Dodoo, A., Gustavsson, L., & Tettey, U. Y. (2017). Final energy savings and cost-effectiveness of deep energy renovation of a multi-storey residential building. *Energy*, 135, 563-576. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energu.2017.06.123>.
- Dwaikat, L. N. & Ali K. N. (2018). The economic benefits of a green building—Evidence from Malaysia. *Journal of Building Engineering*, 18, 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.04.017>.
- Einsenman D.P., Wilhalme H., Tseng C-H. Chester M., English P., Pincetl S. Fraser A., Vangala S. & Dhaliwal, S.K. (2016). Heat Death Associations with the built environment, social vulnerability and their interactions with rising temperature. *Health and Place*, 41, 89-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2016.08.007>.
- El Telégrafo. (2019). *Empleados, empleadores, incremento sueldo basico* . Obtenido de: <https://www.itelegrafo.com.ec/noticias/pedro/1/empleados-empleadores-incremento-sueldo-basico> (consultado el 7 de febrero de 2019).
- Enelven. (1999). *Recomendaciones para mejorar la calidad térmica de las edificaciones*. Maracaibo, Septiembre 1999.
- Fahed, A. K., Ozkaymak, M. & Ahmed, S. (2018). Impacts of heat exposure on worker's health and the performance at steel plant in Turkey. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21, 745 - 752. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.05.005>.
- Fan, K., Chan, E., & Chau, C. (2018). Costs and Benefits of Implementing Green Building Economic Incentives: Case Study of a Gross Floor Area Concession Scheme in Hong Kong. *Sustainability*, 10, 2014. doi:103390/su10082814.
- Fang, Z., Xu, X., Zhou, X., Wu, H., Liu, J. & Lin, Z. (2019). Investigation into the thermal comfort of university students conducting outdoor training. *Building and Environment*, 149, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.003>
- Ferrari, S., & Zagarella, F. (2015). Costs assessment for building renovation cost-optimal analysis. *Energy Procedia*, 78, 2378-2384. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.193.
- Fong, M. L., Lin, Z., Fong, K. F., Hanby, V., & Greenough, R. (2017). Life cycle assessment for three ventilation methods. *Building and Environment*, 116, 73-88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.006>.
- García, B., Bojorquez G. & Ruiz, P. (2011). Sensación térmica percibida en la vivienda económica auto-producida, en período cálido, para clima cálido húmedo. *Ambiente Construido*, 11, 99- 111. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000400008>

- Gilbert, A. (2001). *La vivienda en América Latina*. Documento de trabajo de Proyecto conjunto INDES - Comunidad Europea. América Latina: Indes. Departamento de Integración y Programas Regionales, Instituto Iberoamericano para el Desarrollo Social. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://webimages.iadb.org>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. London: John Wiley & Sons.
- Godoy, M. A. (2012). *El confort térmico adaptativo. Aplicación en edificación en España*. España: Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu.es>.
- González, C. D. (1997). *Economía y calidad en la vivienda: un enfoque cubano*. La Habana: Editoroal Científico Técnica.
- González, C. D., & Véliz, P. J. (2016). *Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda*. *Arquitectura y Urbanismo*, 37(2): 63 - 73.
- González, D. (2011). *Arquitectura Bioclimática*. La Habana: Felix Varela.
- González D., Rueda L.A., González N., Rodríguez E. y Salazar M. (2015). Evaluación cualitativa de la influencia del diseño en el ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(3), 53 - 66).
- González, D. & Sánchez, O. (2016). Towards a more resilient urban morphology in Havana. PLEA 2016: 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Ángeles: University of Pomona.
- González, D., & Véliz, J. (2019). Evolución de la vivienda de interés social en Portoviejo. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(23), 1-21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.evis>.
- Habitat, U. N. (2005). "Millenium Goals". Obtenido de <http://www.unhabitat.org> (revisado el 15 de Marzo de 2005).
- Habitat, U. N. (2012). *Climate change*. Nairobi: UN Habitat.
- Hamerezaee, M., Dehghan, S. F., Golbabaee, F., Fathi, A., Barzegar, L., & Heidarnejad, N. (2018). Assessment of Semen Quality among Workers Exposed to Heat Stress: A Cross-Sectional Study in a Steel Industry. *Safety and Health at Work*, 9, 232-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2017.07.003>.
- Hanna, E. G., & Tait, P. W. (2015). Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming. *International journal of environmental research and public health*, 12, 8034-8074. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph120708034>
- Harlan, S. L., Deplet, B. J., Stefanow, W. L., & Petitti, D. B. (2012). Neighborhood effects on heat deaths: social and environmental predictors of vulnerability in Maricopa County, Arizona. *Environmental Health Perspectives*, 121(2), 197-204. [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/fis/condutermica.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/condutermica.pdf)
- Hatvani, K. G., Belusko, M., Skinner, N., Pockett, J., & Boland, J. (2016). Drivers and barriers to heat stress resilience. *Science of the Total Environment*, 571, 603-614. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.028>

- Hatvani, K. G., Belusko, M., Skinner, N., Pockett, J., & Boland, J. (2016b). Heat stress risk and resilience in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 26, 278-288. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.019>.
- Hendel, M., Azos-Díaz, K. & Tremeac, B. (2017). Behavioral adaptation to heat-related health risks in cities. *Energy and Buildings*, 152, 823 – 829. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.22.063>
- Hernández, P. I., Alvarez, G., Xamán, J., Zavala, G. I., Arce, J., & Simá, E. (2014). Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components—A review. *Energy and Buildings*, 80, 81-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.008>.
- Hondula, D. M., Davis, R. E., Saha, M. V., Wegner, C. R., & Veazey, L. M. (2015). Geographic dimensions of heat-related mortality in seven US cities. *Environmental Research*, 138, 439-452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.02.033>.
- Howden, C. P., Matheson, A., Crane, J., Viggers, H., Cunningham, M., Blakely, T., & Kennedy, M. (2007). Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomised study in the community. *BMJ*, 334, 1 - 9. doi:10.1136/bmj.39070.573032.80.
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censo*. Recuperado el 1 de Marzo de 2017, de Censo de Población y Vivienda: [www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/)
- Invidiata, A., & Ghisi, E. (2016). Life-cycle energy and cost analyses of window shading used to improve the thermal performance of houses. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1371-1383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.072>.
- Iracheta, A. (2012). La mejor política social es la política económica. *Derecho al suelo y la ciudad en América Latina. La realidad y los caminos posibles*. Montevideo: TRILCE, pp. 217 - 230.
- Izurieta, C. (1979). Amplia programación de vivienda tiene El Banco Ecuatoriano de la Vivienda en Manabí. *El Diario Manabita*, (16 de Septiembre de 1979), pág. 5B.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43, 2549-2563. doi:10.1016/j.enbuild.2011.05.015.
- Joshi, S. S., Lesser, T. J., Olsen, J. W., & O'Hara, B. F. (2016). The importance of temperature and thermoregulation for optimal human sleep. *Energy and Buildings*, 131, 153-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.020>.
- Kabre, C. (2010). A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics. *Building and Environment*, 45, 727-738. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.017>

- Kelly F.J. & Fussell J. C. (2019). Improving indoor air quality, health and performance within environments where people live, travel, learn and work. *Atmospheric Environment*, 200, 90-109. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.058>
- Khoshbakht, M., Gou, Z., & Dupre, K. (2017). Cost-benefit prediction of green buildings: SWOT analysis of research methods and recent applications. *Procedia Engineering*, 180, 167-178. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Kim, H., Kim H., Byum, G., Choi, Y., Song, H., & Lee, J. T. (2019). Difference in temporal variation of temperature-related mortality risk in seven major South Korean cities spanning 1998–2013. *Science of the Total Environment*, 656, 986-996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.210>.
- Krishnamurthy, M., Ramalingam, P., Perumal, k., Kamalakannan, L. P., Chinnadurai, J., Shanmugam, R., & Venugopal, V. (2017). Occupational heat stress impacts on health and productivity in a steel industry in southern India. *Safety and Health at Work*, 8, 99-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2016.08.005>.
- Kuusk, K., Kalamees, T., & Marivel, M. (2014). Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings. *Energy and Buildings*, 77, 313-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.026>.
- Lan, L., Tsuzuki, K., Liu, Y., & Lian, Z. W. (2017). Thermal environment and sleep quality: A review. *Energy and Buildings*. 149, 101-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.043>.
- Lee, S., Park, S. H., Yep, M. S., & Kim, K. W. (2009). An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof. *Building and Environment*, 44(7), 1431-1439. doi:10.1016/j.buildenv.2008.09.009
- Leung, C., & Ge, H. (2013). Sleep thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep. *Building and Environment*, 59, 91-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.010>.
- Li, G., Li, Y., Tian, L., Guo, O., & Pan, X. (2018). Future temperature-related years of life lost projections for cardiovascular disease in Tianjin, China. *Science of the Total Environment*, 630, 943-950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.261>.
- Liu, C., Kershaw, T., Fosas, D., González, A. R., Natarajan, S., & Coley, D. A. (2017). High resolution mapping of overheating and mortality risk. *Building and Environment*, 122, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.028>.
- Liu, Y., Song, C., Zhou, X., Liu, J., & Wang, Y. (2016). Thermal requirements of the sleeping human body in bed warming conditions. *Energy and Buildings*, 130, 709-720. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.089>.

- Loenhout, J. A. F., Grand, A., Dujim, F., Vink, N. M., Hoek, G. and Zuurbier, M. (2016). The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. *Environmental Research*, 146, 27 – 34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.012>
- Loor, E. (1981). Arrancó programa de vivienda popular. *El Diario Manabita*, (22 de Abril de 1981). pág. A3.
- Lypczynska, A., Schiavon, S., & Graham, L. T. (2018). Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. *Building and Environment*, 135, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.013>.
- Machado, M., Britto, C., & Neila, J. (2003). El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, 3(3), 65-76, jul./set. 2003. ISSN 1415-8876. [https://www.researchgate.net/publication/242193196\\_El\\_calculo\\_de\\_la\\_conductividad\\_termica\\_equiv\\_alente\\_en\\_la\\_cubierta\\_ecologica](https://www.researchgate.net/publication/242193196_El_calculo_de_la_conductividad_termica_equiv_alente_en_la_cubierta_ecologica) (revisado el 26 de junio de 2017).
- Marken-Lichtenbelt, W., Habssens M., Pallubinsky H., Kingma B and Schellen L. (2017). *Building Research and Information*, 45(7), 819 - 827. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1307647>.
- Martínez, S. E., & Basagaña, X. (2019). Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a Heat Health Prevention Plan. *Environmental Research*, 169, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.006>.
- Mauro, G. M., Hamdy, M., Vanoli, G. P., Bianco, N., & Hensen, J. L. (2015). A new methodology for investigating the cost-optimality of energy retrofitting a building category. *Energy and Buildings*, 107, 456-478. <http://dx.doi.org/10-1016/j.enbuild.2015.08.044>.
- McCormack, M. C., Belli, A. J., Waugh, D., Matsui, E. C., Peng, R. D., Williams, D. A., & Breyse, P. N. (2016). Respiratory effects of indoor heat and the interaction with air pollution in chronic obstructive pulmonary disease. *Annals of the American Thoracic Society*, 13(12), 2125-2131. doi:10.1513/AnnalsATS.201605-329OC.
- Mecott, G. S. (2008). *Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca*. Oaxaca: Oax (Doctoral Dissertation). <https://tesis.ipn.mx>
- Mendell, M. J., Fisk, W. J., Kreiss, K., Levin, H., Alexander, D., Cain, W. S., & Rexroat, L. P. (2002). Improving the health of workers in indoor environments: priority research needs for a national occupational research agenda. *American Journal of Public Health*, 92(9), 1430-1440.
- Mesquita, L., & Kos, J. R. (2017). Towards more resilient and energy efficient social housing in Brazil. *Energy Procedia*, 121, 65-70. doi:10.1016/j.egypro.2017.07.480.
- Miron, I. O., Manea, D. L., Cantor, D. M., & Aciu, C. (2017). Organic Thermal Insulation Based on Wheat Straw. *Procedia Engineering*, 181, 674-681. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

- Moreno, A. C., Morais, I. S., & Souza, R. G. (2017). Thermal Performance of Social Housing—A Study Based on Brazilian Regulations. *Energy Procedia*, 111, 111-120. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Morgado, M., Talaia, M., & Teixeira, L. (2017). A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 60, 3-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.001>.
- Naicker, N., Teare, J., Balakrishna, Y., Wright, C., & Mathee, A. (2017). Indoor Temperatures in Low Cost Housing in Johannesburg, South Africa. *International journal of environmental research and public health*, 14(1), 1410. doi:10.3390/ijerp14111410.
- Nayak, S. G., Shrentha, S., Kinney, L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., & Hwang, S. A. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, 161, 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006>.
- Nazi, W. I., Wang, Y. D., & Roskilly, T. (2015). Methodologies to reduce cooling load using heat balance analysis: a case study in an office building in a tropical country. *Energy Procedia*, 75, 1269-1274. doi:10.1016/j.egypro.2015.07.185.
- NC 220 - 1:2002. Eficiencia energética de los edificios. Parte 1. Envoltente Arquitectónica.
- Nematchousa, M. K., Ricciardi, P., Orrosa, J. A., Asadi, S., & Choundhary, R. (2019). Influence of indoor environmental quality on the self-estimated performance of office workers in the tropical wet and hot climate of Cameroon. *Journal of Building Engineering*, 21, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.007>.
- Nerbass, F. B., Pecoits, F. R., Clark, W. F., Sontrop, J. M., McIntyre, C. W., & Moist, L. (2017). Occupational heat stress and kidney health: from farms to factories. *Kidney International Reports*, 2, 998-1008. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Niemelä, T., Kosonen, R., & Jokisalo, J. (2017). Cost-effectiveness of energy performance renovation measures in Finnish brick apartment buildings. *Energy and Buildings*, 137, 60-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.031>.
- Niemelä, T., Levy, K., Kosonen, R., & Jokisalo, J. (2017). Cost-optimal renovation solutions to maximize environmental performance, indoor thermal conditions and productivity of office buildings in cold climate. *Sustainable Cities and Society*, 32, 417-434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.009>.
- Nieto, L. (1979). Arreglado problemas de vivienda tipo B. *El Diario Manabita*, (23 de Septiembre de 1979), pág. B5.
- Nieto, L. (1979). El 18 inauguran 60 viviendas. *El Diario Manabita*, (12 de Septiembre de 1979), pág. B4.

- Nunfam, V. F., Adusei, A. K., Van, E. E., Oosthuizen, J., & Frimpong, K. (2018). Social impacts of occupational heat stress and adaptation strategies of workers: A narrative synthesis of the literature. *Science of the Total Environment*, 643, 1542-1552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.255>.
- Nunfam V. F., Van Etten E. J., Oosthuizen J., Adusei-Asante K., and Frimpong K. (2019). Climate change and occupational heat stress risks and adaptation strategies for mining workers: Perspectives of supervisors and other stakeholders in Ghana. *Environmental Research*, 169, 147 - 155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.004>
- Odeku, K. O., Overen, K. O., & Meyer, E. L. (2014). Thermal Efficiency for Low Cost Houses using Translucent Water-Based Acrylic Paint. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(20), 2961-2966. doi:10.5901/mjss.214.v5n20p2961.
- Oliveira, A.V.M., Gaspar A. R., Raimundo, A. M. & Quintela, D. A. (2018). Assessment of thermal environments: working conditions in the Portuguese grass industry. *Industrial Health*, 56, 62-77. Field Report.
- Olsson, J. (2012). Para derribar este otro apartheid. *Derecho al suelo y la ciudad en América Latina. La realidad y los caminos posibles*. Montevideo : Trilce, pp.7-8.
- Omonijo, A. G. (2017). Assessing seasonal variations in urban thermal comfort and potential health risks using Physiologically Equivalent Temperature: A case of Ibadan. Nigeria. *Urban Climate*, 21, 87-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.006>
- ONU. (2012). *Naciones Unidas. "Documento final de la Conferencia". Río + 20. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible*. Río de Janeiro: Organización de las Naciones Unidas. (Informe A/CONF.216/L.1).
- Opitz, S. S., Sabbag, L., Hawley, K., Tran, P., Hoang, L., & Nguyen, P. H. (2016). Heat index trends and climate change implications for occupational heat exposure in Da Nang. Vietnam. *Climate Services*, 2-3, 41-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.08.001>.
- Ortiz, E. (2002). *Con los pies en la tierra. Vivitos y coleando*. México D.F.: HIC-al y Universidad Autónoma Metropolitana.
- Pantavau, K., Theoharatos, G., Mavrakis, A., & Santamouris, M. (2011). Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens. *Building and Environment*, 46(2), 339-344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.026>
- Pargana, N., Pinheiro, M. D., Silvestre, J. D., & Brito, J. (2014). Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. *Energy and Buildings*, 82, 466-481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.057>.
- Parson, K. C. (2003). *Humann Thermal Environments. The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*. (3rd ed). London New York: CRC Press.

- Pérez, A. (2013). *Bases para el diseño de la Vivienda de interés social: según las necesidades y expectativas de sus habitantes*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Pessina, L. (2012). Una legislación urbana ejemplar, que no se aplica. *Derecho al suelo y la ciudad en América Latina. La realidad y los caminos posibles*. Montevideo: TRILCE, pp. 81 - 94
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón de Portoviejo (s/f). Resumen ejecutivo.
- Pyrgou, A., & Santamouris, M. (2018). Increasing probability of heat-related mortality in a Mediterranean city due to urban warming. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), 1571. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081571>
- Pyrgou, A., Castaldo, V. L., Pisello, A. L., Cotana, F., & Santamouris, M. (2017). On the effect of summer heatwaves and urban overheating on building thermal-energy performance in central Italy. *Sustainable Cities and Society*, 28, 187-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.012>.
- Quinn, A., Tamarius, J. D., Perzanowski, M., Jacobson, J. S., Goldstein, I., Acosta, L., & Shaman, J. (2014). Predicting indoor heat exposure risk during extreme heat events. *Science of the Total Environment*, 490, 686-693. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.039>
- Rebellón D.E., Avendaño A. and Mendez Y. (2019). Letter to the Editor. Hot springs as sources of infection: An environment overlooked by public health practitioners. *Journal of Infection and Public Health*, 12, 104 - 105. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2018.11.006>.
- Romero, R. A. (2010). *Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: Regiones de clima cálido seco y húmedo*. México: CONAVI. Disponible en <http://gaceta.uabc.mx/notas/academia/confort-termico-y-ahorro-de-energia-en-la-vivienda-economica-en-mexico>
- Rosenthal, J. K., Kinney, P. L., & Metzger, K. B. (2014). Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997–2006. *Health & Place*, 30, 45-60. <http://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.07.014>.
- Saafi, K., & Daouas, N. (2018). A life-cycle cost analysis for an optimum combination of cool coating and thermal insulation of residential building roofs in Tunisia. *Energy*, 152, 925-938. <https://doi.org/10.1016/j.emergu.2018.04.010>.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. R. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15, 3617-3631. [doi:10.1016/j.rser.2011.07.014](https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014)
- Sakka, A., Santamouris, M., Livada, I., Nicol, F., & Wilson, M. (2012). On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, 69-77. [doi:10.1016/j.enbuild.2012.01.023](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.023).
- Sala Serrano J. (2002). Latinoamérica: Hambre de vivienda”, *Revista INVI*, 17 (45), 58 – 69.

- Salgado, B. Multifamiliares del Banco Ecuatoriano de la Vivienda estarán en septiembre. *El Diario Manabita*, (16 de Junio de 1986), pág. 8.
- Sampson, N. R., Gronlund, C. J., Buxton, M. A., Catalano, L., White, N., Colon, K. C., & Parker, E. A. (2013). Staying cool in a changing climate: Reaching vulnerable populations during heat events. *Global Environmental Change*, 23, 475-484. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.011>
- Sánchez, O. (2015). Los usos activos y pasivos del sol y el viento en la vivienda urbana en La Habana. Tesis Maestría en Vivienda Social. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUIJAE.
- Schnell, L., Potchter, O., Yaakov, Y., & Epstein, Y. (2016). Human exposure to environmental health concern by types of urban environment: the case of Tel Aviv. *Environmental Pollution*, 208, 58-65.
- Shan, X., Melina, A. N., & Yang, E. (2018). Impact of indoor environmental quality on students' wellbeing and performance in educational building through life cycle costing perspective. *Journal of Cleaner Production*, 204, 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.02>.
- Sharafkhani, R., Kahanjani, N., Bahram, B., Johani, Y. & Tabrizi, J. S. (2018). Physiological Equivalent Temperature Index and mortality in Tabriz (The northwest of Iran). *Journal of Thermal Biology*, 71, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.11.012>
- Shen, T. Y., Tan, S. H., & Wu, F. G. (2015). Comparison of Sleep Quality and Thermal Comfort for Innovative Mattress Design. *Procedia Manufacturing*, 3, 5874-5880. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Sheng, R., Li, C., Wang, Q., Yang, L., Bao, J., Wang, K., & Bi, P. (2018). Does hot weather affect work-related injury? A case-crossover study in Guangzhou, China. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221, 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.ijeh.2018.01.005>.
- Song, C., Liu, Y., Zhou, X., Wang, X., Li, J., & Liu, J. (2015). Investigation of human thermal comfort in sleeping environments based on the effects of bed climate. *Procedia Engineering*, 121, 1126-1132. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Staines, E. (2013). *Habitabilidad y eficiencia energética en conjuntos habitacionales de interés social*. Juárez: Universidad de Ciudad Juárez. <https://docplayer.es>
- Sugranyes, A., & Morales, R. (2012). Resistencia y propuestas hacia el derecho al suelo. *Derecho al suelo y la ciudad en América Latina. La realidad y los caminos posibles*. Montevideo: TRILCE, pp. 27 - 44.
- Suraya W.S & Embi M.R. (2016). Analusing Optimum Building Form in Relation to Lower. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 728 - 790. doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.161

- Thai, P. K., Cándido, C., Asumadu, S. A., Barnett, A., & Morawska, L. (2019). Variation of indoor minimum mortality temperature in different cities: Evidence of local adaptations. *Environmental Pollution*, 246, 745-752. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.061>.
- Triana, M. A., Lamberts, R., & Sassi, P. (2015). Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, 87, 524-541. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>.
- Tubelo, R., Rodríguez, L., Gillot, M., & Soares, J. C. (2018). Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. *Building and Environment*, 133, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.builenv.2018.01.038>.
- Uejio, C. K., Wilhelmi, O. V., Golden, J. S., Mills, D. M., Gulino, S. P., & Samenow, J. P. (2011). Intra-urban societal vulnerability to extreme heat: the role of heat exposure and the built environment, socioeconomics, and neighborhood stability. *Health & Place*, 17, 498-507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2010.12.005>
- Varghese, B. M., Hansen, A. B., & Pisaniello, D. (2018). Are workers at risk of occupational injuries due to heat exposure? A comprehensive literature review. *Safety Science*, 110, 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.027>.
- Varhese, B. M., Barnett, A. G., Hansen, A. L., Bi, P., Hanson, E. S., Heyworth, J. S., & Pisaniello, D. L. (2019). The effects of ambient temperatures on the risk of work-related injuries and illnesses: Evidence from Adelaide, Australia 2003-2013. *Environmental research*, 170, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.024>
- Véliz, J., & González, D. (2019). Vivienda de interés social en Portoviejo. Ambiente térmico interior. *AUS*(26), 35-41. doi:10.4206/aus.2019.n26-07.
- Véliz, J., González, D., & Zambrano, M. (2018). *Evaluación térmica de una vivienda en San Clemente. Memorias Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. La Habana: CUJAE.
- Wang, J., Kuffer, M., Sliuzas, R., & Kohli, D. (2019). The exposure of slums to high temperature: Morphology-based local scale thermal patterns. *Science of the total environment*, 650, 1805-1817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.324>.
- Wierbicka, A., Pedersen, E., Persson, R., Nordquist, B., Staline, K., Gao, C., & Stroh, E. (2018). Healthy Indoor Environments: The Need for a Holistic Approach. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 1874. doi:10.3390/ijerph15091874.
- Yépez, H. (2017). Conferencia en la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo - Ecuador: UTM.

- Yushchenko, A., & Patel, M. K. (2017). Cost-effectiveness of energy efficiency programs: How to better understand and improve from multiple stakeholder perspectives? *Energy Policy*, *108*, 538-550. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.015>
- Zamanian, Z., Sedaghat, Z., Hemerhreezaee, M., & Khajehanasiri, F. (2017). Evaluation of environmental heat stress on physiological parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *15*(1), 24. doi:10.1186/s40201-017-0286-y.
- Zander, K. K., Moss, S. A., & Garnett, S. T. (2017). Drivers of self-reported heat stress in the Australian labour force. *Environmental research*, *152*, 272-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.10.029>.
- Zhang, L., Wu, J., & Liu, H. (2018). Turning green into gold: A review on the economics of green buildings. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 2234-2245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.118>.
- Zhao, Q., Coelho, M. S., Li, S., Saldiva, P. H., Hu, K., Abramson, M. J., & Gup, Y. (2019). Temperature variability and hospitalization for cardiac arrhythmia in Brazil: A nationwide case-crossover study during 2000–2015. *Environmental Pollution*, *246*, 552-558. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.063>.
- Zheng, G., Li, K., Bu, W., & Wang, Y. (2019). Fuzzy comprehensive evaluation of human physiological state in indoor high temperature environments. *Building and Environment*, *150*, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.063>.
- Zhu, H., Wang, h., Liu, Z., Li, D., Kou, G., & Li, C. (2018). Experimental study on the human thermal comfort based on the heart rate variability (HRV) analysis under different environments. *Science of the Total Environment*, *616-617*, 1124-1133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.208>.
- Zoldán, C. (1961). Banco de la vivienda debe construir aquí. *El Diario Manabita* (10 de Septiembre de 1961), pág. 7.
- Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., & Ma, T. (2015). Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *Journal of Cleaner Production*, *92*, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclespro.2014.12.078>



**Uleam**  
*Editorial*  
*Universitaria*

ISBN: 978-9942-827-08-1



9789942827081