

Colecti3n

# MONOCRÁFICOS

## Aprovechamiento sustentable y medio ambiente:

Un aporte al desarrollo local y  
regional, desde la experiencia  
Universitaria

Jaime Enrique Maza Maza  
**Compilador**





Ediciones UTMACH

90 pág: 21x29,7cm

**Colección Monográficos**

**Título:** Aprovechamiento sustentable y medio ambiente: Un aporte al desarrollo local y regional, desde la experiencia Universitaria - Jaime Enrique Maza Maza (Compilador)

Primera edición 2020

ISBN: 978-9942-24-139-9

CDD 338

1. Producción,

2. Industria turística

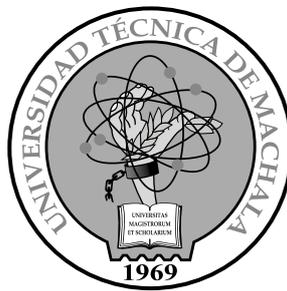
--Temas relacionados

Publicación PDF

# **Aprovechamiento sustentable y medio ambiente: Un aporte al desarrollo local y regional, desde la experiencia Universitaria**

Jaime Maza Maza

**COMPILADOR**



## **Autoridades**

César Quezada Abad - **Rector**  
Amarilis Borja Herrera - **Vicerrector Académico**  
Jhonny Pérez Rodríguez - **Vicerrector Administrativo**

Luis Brito Gaona  
**Director de Investigación**

© Ediciones UTMACH  
Colección Monográficos

### **Título original:**

Aprovechamiento sustentable y medio ambiente: Un  
aporte al desarrollo local y regional, desde la experiencia  
Universitaria

**ISBN:** 978-9942-24-139-9

© Jaime Enrique Maza Maza  
**(Compilador)**

© Autores de capítulos

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942241399>

Primera edición 2020

Karina Lozano Zambrano  
**Jefe editor / Diseño y edición editorial**

Fernanda Tusa Jumbo - **Corrector de estilos**  
Jorge Maza-Cordova - **Asesor tecnológico**  
Karla Ibañez y Cyndi Aguilar - **Equipo de difusión**

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento No Comercial.  
Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y cons-  
truir a partir de su obra con fines no comerciales, siempre  
y cuando le reconozcan la autoría y sus nuevas creaciones  
estén bajo una licencia con los mismos términos.

# **CAPÍTULO**

## **3**

La cubierta y su  
eficiencia energética  
en la región Costa del  
Ecuador

# **La cubierta y su eficiencia energética en la región Costa del Ecuador**

Jefferson Torres-Quezada

David Bustillos-Yaguana

Pablo Ochoa-Pesántez

**Autores**

# La cubierta y su eficiencia energética en la región Costa del Ecuador

Jefferson Torres-Quezada

PhD. en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, graduado en la Universidad Politécnica de Cataluña con mención internacional en la Universidad de Keio-Japón. Área de investigación: el comportamiento térmico y lumínico de la edificación. Docente e investigador del master de arquitectura-energía de la UPC, y actualmente docente de la Universidad Católica de Cuenca.

David Bustillos-Yaguana

Arquitecto graduado en la Universidad Estatal de Cuenca con maestría en el área de construcciones. Larga experiencia en el área de diseño y construcción sostenible en varias provincias del Ecuador. Como investigador ha publicado varios artículos científicos de impacto local e internacional.

Pablo Ochoa-Pesántez

Arquitecto por la Universidad de Cuenca. Obtiene su grado de maestría en Arquitectura y Sostenibilidad por la Universidad Politécnica de Catalunya. Arquitecto consultor de varios proyectos enfocados en la ecología, sostenibilidad y bioclimatismo. Actualmente docente de la escuela de arquitectura de la Universidad del Azuay.

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942241399.3>

## Resumen

La cubierta es uno de los elementos arquitectónicos más influenciado por los factores climáticos de cada región donde se emplaza. La relación de este elemento con el clima ha sido esencial para definir su morfología y materialidad. Por tanto las características de las cubiertas dependen de su ubicación geográfica, las mismas adquieren una gran variedad que van desde las cubiertas nórdicas con grandes inclinaciones, hasta las cubiertas de paja toquilla en el Ecuador. Cabe destacar que, sólo hasta final del siglo XIX las tipologías de los edificios han sido guiadas por el clima local y la búsqueda del confort del usuario (Dollfus, 1954).

El eje central de esta investigación es la cubierta, contextualizado en la Región Costa del Ecuador, donde se abordan diferentes estrategias bioclimáticas, tanto formales como materiales, para reducir el sobrecalentamiento de la cubierta, y por ende reducir el disconfort interior del usuario y la demanda energética en esta región. La primera parte de este capítulo se centra en analizar las cubiertas de la arquitectura vernácula en la Región Costa del Ecuador. A continuación, se hace una descripción del clima de la región analizada, a través de la cual se busca relacionar las características formales y de materiales con los factores climáticos determinantes de esta zona. Por último, se analiza el desempeño térmico y energético de las diferentes variables planteadas, a través de un trabajo de experimentación realizado en campo y de simulaciones digitales. Además de abordar el aspecto térmico y energético, este trabajo considera el impacto económico de las diferentes estrategias analizadas. A través de los resultados obtenidos, se ha podido evidenciar que las propiedades ópticas de las superficies de las cubiertas, reflectividad y emisividad, son las variables con mayor influencia sobre la reducción del sobrecalentamiento interior, y además, son las que menor gasto económico generan.

**Palabras claves:** reflectividad, emisividad, impacto térmico, impacto económico.

## Introducción

Desde los inicios de la arquitectura, la envolvente y todas sus partes han tenido como objetivo primordial la protección del usuario, en especial, de las inclemencias climáticas de su entorno. Con este propósito, la envolvente ha estado condicionada de manera primordial por el clima donde se emplaza (Coch y Serra, 1995).

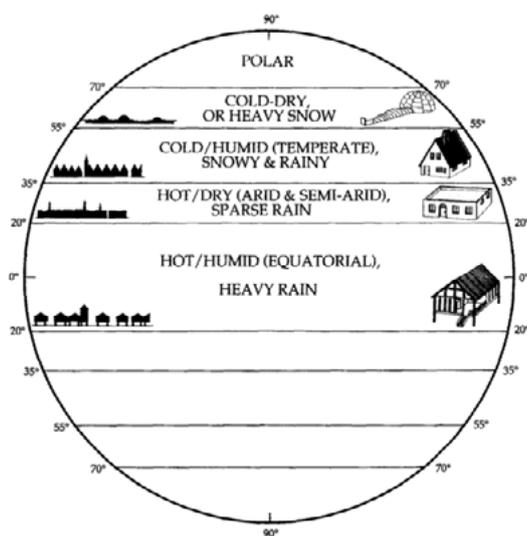
La relación entre arquitectura y clima se evidencia en las tipologías de edificaciones y morfologías urbanas vernáculas de cada región. Los sistemas constructivos, la forma, orientación e implantación de las viviendas y hasta de las mismas ciudades de la arquitectura popular responden a sus propias condicionantes climáticas (Coch y Serra, 1995; Coch, 1998; Kumar, Mahapatra y Atreya, 2009; Beckers,

2012; Tong et al., 2014). Uno de los elementos arquitectónicos que en gran medida ha estado influenciado por el clima de cada región es la cubierta (Konya, Swanepoel y Fontes, 1981).

Este elemento se define como la superficie de la envolvente del edificio que cubre la parte superior de esta y su objetivo es la protección de las inclemencias climáticas como la lluvia o la nieve, así como de otros factores de igual o mayor importancia como los vientos y la radiación solar (Whitney y Smith, 1901).

El vínculo de la cubierta con los factores climáticos de la región donde se emplaza ha sido fundamental para determinar la forma y materialidad. De manera que, las características de este elemento pueden variar enormemente en función de su situación geográfica (Golany, 1996), como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Tipologías de cubiertas y edificaciones de la arquitectura popular de acuerdo a la latitud.



En las zonas de latitud 0°, las cuales se caracterizan por los climas cálidos-húmedos, predominan las cubiertas inclinadas, para desahogar rápidamente el agua de lluvia y ralentizar el viento con el propósito de incrementar las pérdidas por convección (Koenigsberger et al., 1975; Konya, Swanepoel y Fontes, 1981; Beckers, 2012).

Las latitudes medias cercanas a los trópicos se dividen en clima cálido-húmedo (las zonas cercanas al mar) y en clima cálido-árido (zonas en el continente). En los climas cálido-húmedos se repiten las cubiertas inclinadas con aleros extendidos para proteger a los paramentos verticales y a las ventanas de la radiación. En cambio, en los climas cálido-secos, donde se extienden la mayoría de los desiertos, se distinguen las cubiertas pesadas planas para resistir la gran radiación solar y la amplia oscilación diaria de temperatura. Otras cubiertas típicas en estas regiones son las cúpulas o bóvedas, que al ofrecer una mayor superficie tienen un mayor intercambio de calor (Koenigsberger et al., 1975; Konya, Swanepoel y Fontes, 1981; Beckers, 2012).

En latitudes altas, donde es usual la nieve, las cubiertas tienen una inclinación mayor al 60% (Koenigsberger et al., 1975; Konya, Swanepoel y Fontes, 1981; Beckers, 2012).

De igual manera, los parámetros de forma y material de la cubierta han sido condicionados en gran medida por los recursos disponibles de cada zona. No obstante, estos recursos también dependen de las características climáticas de cada región (Golany, 1996).

En esencia, la arquitectura nace como una respuesta a las preexistencias climáticas de la región a la que pertenece; y, por tanto, el vínculo entre arquitectura-clima resulta esencial en el arte de proyectar.

Sin embargo, estudios muestran que sólo hasta final del siglo XIX las tipologías de los edificios han sido regidas primordialmente por el clima local y la búsqueda de confort del usuario (Dollfus, 1954).

Los avances tecnológicos y los nuevos sistemas constructivos del siglo XX, como el concreto, el metal, sistemas de refrigeración, el elevador, el vidrio, han llevado a la globalización de la arquitectura. Los mismos procesos y tecnologías son usados para todos los climas, mientras que el confort de las personas se asegura por el uso de sistemas activos energéticos, lo que ha tenido un gran impacto sobre la demanda energética del edificio.

La ruptura de esta relación no sólo ha tenido consecuencias a nivel energético, sino también a nivel climático, económico y de salud; esto ha repercutido a diferentes escalas, desde los usuarios hasta los gobiernos locales y globales (Dollfus, 1954; Nahon, 2016; Ayuso, 2018; Shuai, 2020).

El constante y apresurado crecimiento de la población urbana mundial (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2015), ha traído como consecuencia que la demanda residencial de las ciudades se incremente sustancialmente. Lo que a su vez ha repercutido en el incremento del consumo energético de los edificios, especialmente en los países en vías de desarrollo (Levine et al., 2007; Liu, Meyer y Hogan, 2010).

Bajo estas circunstancias, las grandes urbes han afrontado este fenómeno a través de diferentes estrategias urbanas. Por un lado, varias regiones han optado por densificar su territorio a través del crecimiento vertical, resultando en lo que se conoce como Ciudad Compacta, donde predomina la edificación en altura (Mouratidis, 2019; Downs A, 1999). Por el contrario, otras regiones han satisfecho estos requerimientos urbanos a través de la expansión horizontal de su territorio. Esto ha resultado en las ciudades dispersas o el llamado Urban Sprawl, donde la tipología urbana predominante es la edificación de baja altura (Downs A, 1999; Arellano y Roca, 2015; Wang, 2020), como es el caso de las ciudades de Ecuador y de América en general.

Dentro de este contexto urbano, ciudades dispersas y de baja altura, la cubierta es la superficie que mayor proporción tiene con respecto a toda la envolvente, por lo cual tiene un gran impacto en las condiciones del espacio interior. Este hecho

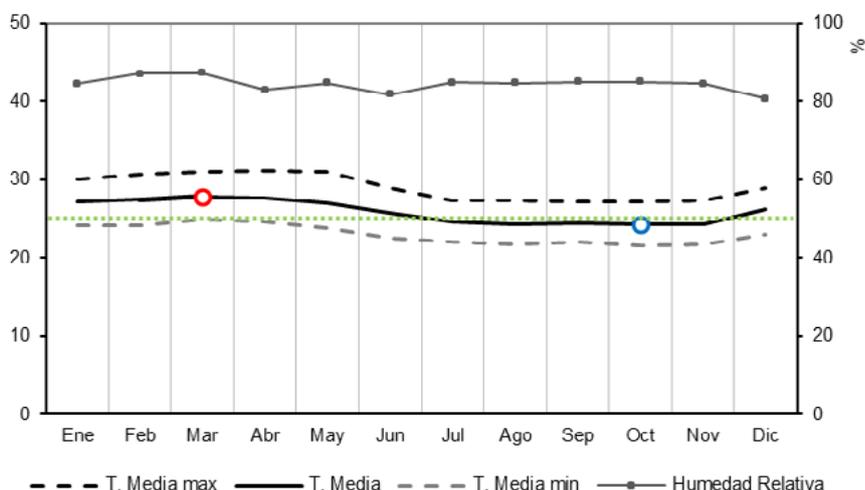
sumado a la alta y constante radiación solar, que caracteriza al Ecuador, determina que la cubierta es la responsable de hasta el 60% del consumo por refrigeración en la región cálida de este país (Torres, 2018a).

De acuerdo con el reporte IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) las emisiones de CO<sub>2</sub> de los edificios alcanzará los 16 Gt para el 2030, principalmente como resultado del incremento del consumo energético de los países en desarrollo, (Levine et al., 2007). En estos países, la principal fuente de producción de energía proviene de combustibles fósiles (Der-petrosian y Johansson, 2001), como es el caso de Ecuador, donde 39.16% de la energía producida proviene del energía no renovable (ARCONEL, 2020).

Uno de los principales responsables del consumo de esta energía es el sector residencial (ARCONEL, 2020; ARCONEL, 2014), y conforme a varios estudios, la principal fuente de consumo energético en estos climas son los sistemas de refrigeración activos (Bertoldi y Atanasiu, 2009; Jayasinghe, Attalage y Jayawardena, 2003; Kua y Wong, 2012).

Dadas las condiciones climáticas de la región Costa del Ecuador (figura 2), el principal problema ambiental son las condiciones de desconfort térmico por la sensación de calor.

Figura 2. Promedio mensual de la temperatura del aire (máxima, mínima y media) y la Humedad Relativa media (2016)



Nota: datos tomados de la Estación Meteorológica Aeropuerto Víctor Larrea

Estas condiciones se mantienen constantes durante todo el año, por lo que uno de los principales responsables del consumo energético es el sistema de refrigeración. Más aún, el consumo energético del sector residencial ha tenido una tasa de crecimiento del 200% de 1990 a 2010, e incluso se incrementó hasta el 240% en el 2014 y el 320% en el 2020 (CONELEC, 1999; ARCONEL, 2013; ARCONEL, 2014; ARCONEL, 2020).

Por lo tanto, las estrategias orientadas a reducir el sobrecalentamiento interior de la vivienda, principalmente enfocadas en la cubierta, tendrán un gran impacto en el confort del usuario, y en consecuencia, en la reducción de la demanda energética de las viviendas.

Aunque el desconfort térmico en las edificaciones de esta región, es un hecho latente para el usuario, el Ecuador no cuenta con una normativa específica que regule las consideraciones térmicas de las edificaciones. No obstante, la cámara de la construcción en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en el año 2011 han desarrollado la Norma Ecuatoriana de la Construcción, donde está integrado un capítulo dedicado a la eficiencia energética. Es necesario recalcar que este documento toma como base normativas o publicaciones de otros países como: el Código técnico de España, Ordenanza de Chile, Código de Construcción de Bogotá, etc.

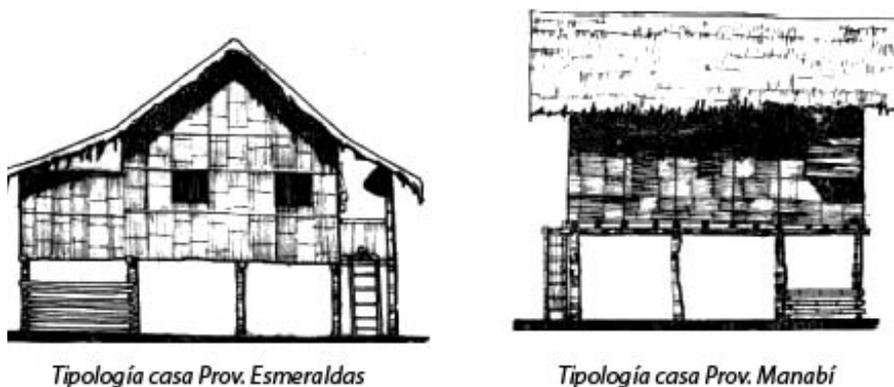
De acuerdo a este documento, las cubiertas de la región Costa deben tener un valor máximo de transmitancia térmica ( $U$ ) de  $0.75 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tanto para edificaciones que usen o no climatización activa (CCE, 2011). Por lo cual, para alcanzar estos valores se recomienda el uso de materiales aislantes. Sin embargo, la implementación de estos materiales supone grandes inversiones económicas para el usuario, y además tiene un impacto en el ámbito ecológico.

Tras la globalización de materiales y la inserción de nuevas tecnologías, en Ecuador el uso de materiales naturales y propios de las zonas se ha descartado casi en su totalidad, especialmente en las áreas urbanas.

La vivienda vernácula de la Región Costa desde siempre se ha caracterizado por sus materiales ligeros, paredes de pambil o caña picada, y hojas de palma para la cubierta (Yépez, 2012; Ubidia, Ruiz y Navarrete, 1987).

Ligeras diferencias morfológicas existían entre las diferentes ciudades de esta región (figura 3), sin embargo, se destacaba el uso común las cubiertas inclinadas con grandes aleros, viviendas separadas del suelo, y de los materiales descritos (Nurnberg, Ycaza y Holm, 1982).

Figura 3 Arquitectura vernácula de diferentes provincias de la Región Costa de Ecuador.



Nota: Imagen tomada de (Nurnberg, Ycaza y Holm, 1982)

Aunque estos sistemas constructivos han desaparecido casi en su totalidad, aún quedan algunos ejemplos en zonas rurales, figura 4.

Figura 4. Viviendas de zonas rurales de la Región Costa de Ecuador, en la actualidad.



Nota: Imagen tomada de (de Diego, 2017)

Debido al constante mantenimiento que necesitaban estos sistemas constructivos, especialmente los materiales de la cubierta, se reemplazó la hoja de palma por láminas de acero con un recubrimiento de zinc (Tambaco, 2012). Desde varias décadas atrás, esta tipología de cubierta es la más utilizada en la región Costa del Ecuador (INEC, 1990; INEC, 2010; INEC, 2018), al igual que en otros países de estas regiones con el mismo clima como: Indonesia (Lauber et al., 2005), Malasia (Allen, Elias y Lim, 2008), República Dominicana (Oficina Nacional de Estadística [ONE], 2010), Costa Rica (INEC, 2011), etcétera.

Aunque en regiones con climas cálidos húmedos, los materiales ligeros destacan como los más usados; en Ecuador, se han popularizado los materiales de mayor masa y resistencia térmica, como el uso de la cubierta de losa de hormigón.

El costo de construcción de la cubierta de losa de hormigón es mucho más alto que otras técnicas o materiales como las cubiertas metálicas, sin embargo, el uso de esta cubierta presenta la mayor tasa de crecimiento, 400%, en los últimos 20 años. Lo que para el año 2018, la ha convertido en la segunda cubierta más utilizada en la región Costa, y la más utilizada a nivel país (INEC, 2018)

Conforme a todo lo expuesto hasta ahora, este capítulo aborda el estudio de diferentes estrategias orientadas a reducir el sobrecalentamiento de las dos tipologías de cubierta más utilizadas en la región Costa del Ecuador, priorizando su comportamiento térmico, facilidad de aplicación, baja huella ecológica y un bajo costo económico.

## Objetivo general

La presente investigación se centra en el comportamiento térmico de las dos tipologías de cubiertas más utilizadas en la región costa del Ecuador: la cubierta ligera metálica y la cubierta pesada de hormigón.

**El objetivo general de esta tesis es:**

Evaluar estrategias para la reducción de temperatura de la cubierta metálica y la cubierta de hormigón, y determinar su factibilidad en el clima de la región costa del Ecuador.

## Objetivos específicos

- Analizar el impacto térmico de cada una de las estrategias planteadas sobre la reducción del sobrecalentamiento interior de cada una de las cubiertas.
- Evaluar el impacto económico de cada una de las estrategias planteadas.

## Metodología

Parte de la investigación mostrada en este capítulo forma parte de la tesis doctoral de uno de los autores, en la cual se desarrolló el análisis profundo de las características climáticas del lugar de estudio y se realizaron las mediciones de los parámetros térmicos mostrados. Todos los datos resumidos en este escrito se pueden encontrar en Torres (2018b).

Con el propósito de evaluar el comportamiento térmico de las dos tipologías de cubierta de análisis y el impacto de cada una de las variables frente a las condiciones climáticas reales de esta región, la metodología de esta investigación se lleva a cabo a través de simulaciones digitales.

No obstante, antes de realizar esta evaluación, se realizaron validaciones del modelo de cálculo a través de mediciones realizadas in situ, para obtener resultados con mayor precisión. Para esto, la configuración del modelo climático del software se realizó en base a mediciones realizadas in situ.

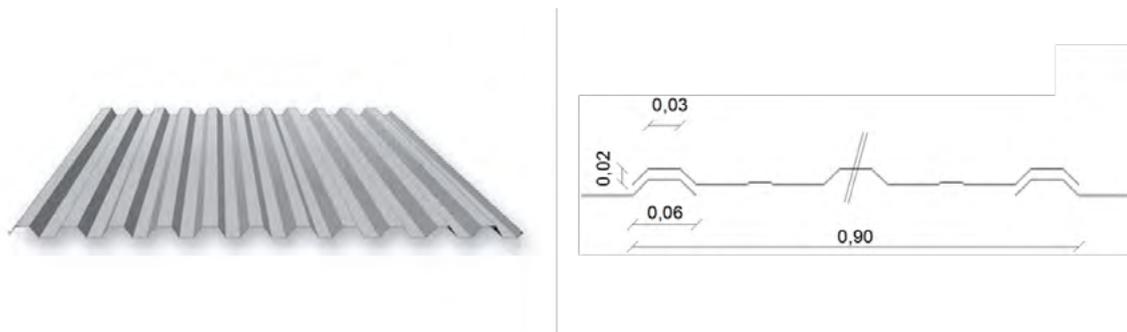
El proceso de investigación se ha desarrollado en tres etapas: la Configuración de las simulaciones, la Validación de las Simulaciones y el Análisis de los Resultados. El software de simulación utilizado para esta investigación fue Design Builder (2016), el cual utiliza como motor de cálculo a Energy Plus (DOE, 2017).

Las características técnicas y térmicas de las dos tipologías de cubierta a estudiarse en esta investigación se definen a continuación:

**La CUBIERTA LIGERA METÁLICA (CM)** se refiere a una lámina de acero de 0.3 mm de espesor, con un recubrimiento de zinc o una aleación de aluminio y zinc (55%-45%). El peso de esta lámina de acero es de 2.6 kg/m<sup>2</sup>, y ofrece una transmitancia térmica alrededor de 7.2 W/ m<sup>2</sup>.K (NOVACERO, 2016).

Las propiedades radiativas de este acabado en estado nuevo son las siguientes: una reflectividad en el visible alrededor de 0.75 y una emisividad en el infrarrojo térmico alrededor de 0.12, figura 5.

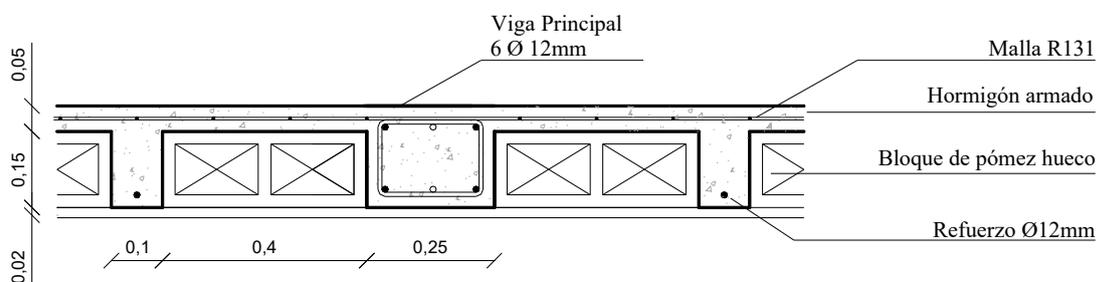
Figura 5. Detalle de la cubierta metálica



**La CUBIERTA PESADA DE LOSA DE HORMIGÓN (CH)** se refiere a una losa de hormigón armado, nervada en los dos sentidos. Esta losa tiene un espesor de 22 cm y un peso aproximado de 2000 kg/m<sup>3</sup>, y está compuesta por una chapa de hormigón de 5 cm, bloque aligerado de piedra pómez de 15 cm y un enlucido de mortero de cemento de 2 cm en el interior. Esta cubierta tiene una transmitancia térmica alrededor de 2.8 W/ m<sup>2</sup>.K

El acabado superficial de la cubierta de hormigón en esta región es la propia superficie de hormigón. Por lo tanto, las propiedades radiativas de este material en estado nuevo son las siguientes: una reflectividad al el visible alrededor de 0.40 y una emisividad en el infrarrojo térmico alrededor de 0.90, figura 6

Figura 6. Detalle de la cubierta de hormigón



### Parámetro de análisis: temperatura superficial interior ( $T_{si}$ )

Dado que el clima de la región Costa del Ecuador está caracterizado por las constantes y altas temperaturas del aire y altos niveles de humedad, al igual que otras regiones de estas latitudes, las condiciones de discomfort térmico por el sobrecalentamiento interior son una permanente preocupación para los habitantes de esta zona climática.

Esta condición de discomfort interior se intensifica o se reduce en función de otras dos variables: la temperatura radiante y la velocidad del aire. Al ser la cubierta la superficie más expuesta a la radiación solar y la que mayor proporción de la envolvente tiene sobre el espacio interior, la temperatura del aire interior ( $T_{ai}$ ) y la temperatura radiante media ( $T_{mrt}$ ) de las viviendas dependen del comportamiento térmico de este elemento, en específico de su temperatura superficial interior ( $T_{si}$ ). Bajo este contexto, el desempeño térmico de la superficie interior de la cubierta puede ser el principal responsable de incrementar o reducir las condiciones de discomfort térmico en el ambiente interior.

Numerosas estrategias se han enfocado en reducir la temperatura del aire para reducir las condiciones de discomfort interior, a través del uso de sistemas pasivos o activos de refrigeración. Sin embargo, aunque la  $T_{ai}$  disminuya, si la  $T_{si}$  de la cubierta no se reduce la  $T_{mrt}$  tampoco y en consecuencia el discomfort del usuario persistirá.

En este sentido, la temperatura superficial interior ( $T_{si}$ ) de la cubierta se ha escogido como el parámetro de análisis para esta investigación.

En consecuencia, el mejor desempeño térmico entre las dos cubiertas está en función de la menor temperatura superficial interior que puedan ofrecer, lo que implica un menor discomfort interior y en consecuencia una menor demanda energética de las viviendas de esta región.

### Variables de análisis.

De acuerdo con estudios analizados previamente, se han escogido las siguientes variables de análisis como las más significativas tanto a nivel material como morfológico, para determinar la influencia independiente de cada una de ellas sobre el comportamiento térmico de las dos cubiertas de análisis en el clima cálido-húmedo.

- La inclinación.
- Orientación.
- Reflectividad al visible.
- Emisividad al infrarrojo térmico.
- La doble capa.

Estas variables se han escogido en función a la factibilidad de su aplicación tanto en el planteamiento del diseño como en el proyecto construido.

Cada una de estas variables cuenta con diferentes variantes. La figura 7 muestra un resumen de las variables y las variantes de cada una de estas.

Figura 7. Variables y variantes de análisis, parámetro de análisis y casos de estudio.

CUBIERTAS DE ANÁLISIS	PARÁMETRO DE ANÁLISIS	VARIABLES						
		INCLINACIÓN-ORIENTACIÓN				REFLECTIVIDAD	EMISIVIDAD	DOBLE CAPA
		N	S	E	O			
CM	Tsi							
		0%				0,25	0.30	
		15%				0.50	0.60	
CH								
	30%				0.75	0.90		
	45%							

## Materiales y métodos

Por una parte, se ha recolectado los factores climáticos del sitio de análisis a través de mediciones *in situ*. Los datos medidos fueron radiación solar, temperatura del aire exterior, velocidad del aire, humedad relativa, presión atmosférica, etc. Todos estos datos han sido tomados de dos estaciones meteorológicas (WeatherCompany-LLC, 2016a; WeatherCompanyLLC, 2016b). Además, se consideró otro parámetro poco estudiado, el cual hace relación a la capacidad radiativa del cielo, para esto se midió la nubosidad y la temperatura radiante del cielo.

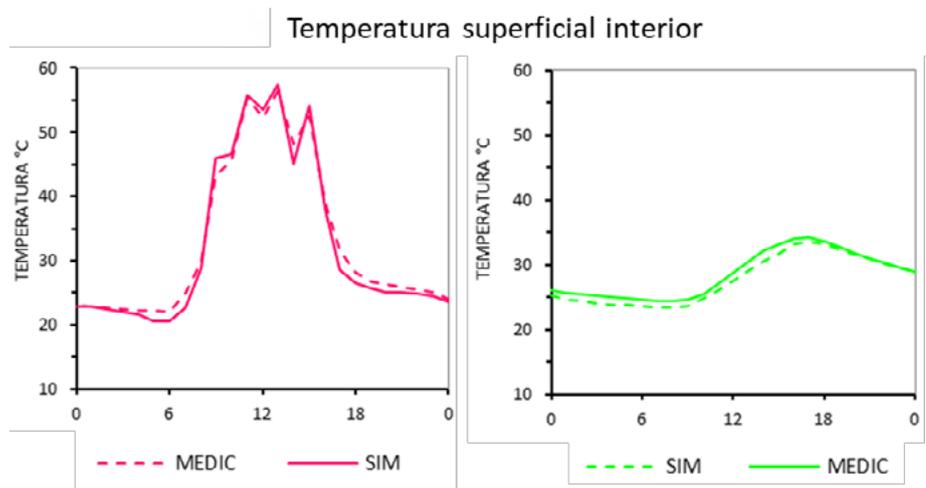
Por otra parte, se midió la reflectividad, emisividad y transmitancia térmica de las cubiertas de análisis. El proceso de medición utilizada se realizó en base a la metodología mostrada en Torres (2018b). Las mediciones de reflectividad se realizaron mediante un proceso de relación de iluminancias recibidas y salientes con el uso de luxómetros especializados. Los valores de emisividad fueron obtenidos a través de medir en el mismo instante la temperatura superficial y la temperatura radiante de las cubiertas, con el uso de un Termopar y una cámara radiante respectivamente. La comparación de estas temperaturas y con la ayuda del software Fluke i7 se consiguió obtener la emisividad de cada una de las cubiertas. Por último, la transmitancia térmica se midió con un Uómetro.

La primera etapa de esta metodología, la configuración de las simulaciones tomó en consideración dos viviendas que poseían independientemente una cubierta de

análisis. Dentro de estas viviendas se midieron diferentes parámetros térmicos, como la temperatura del aire, y la temperatura superficial de las cubiertas, además de varias características particulares como ocupación, ventilación, renovaciones horarias, etc. Todos estos datos sirvieron para configurar el modelo de simulación. Además de estos datos, se ingresó un modelo climático configurado de acuerdo con las mediciones realizadas *in situ*.

Una vez configurado el modelo, en la segunda etapa, se obtuvieron los resultados simulados y se los comparó con los datos medidos en las dos viviendas. La figura 8 muestra la comparación de los datos simulados con los datos medidos de la temperatura superficial interior ( $T_{si}$ ) de la cubierta metálica y la cubierta de hormigón. La comparación de estos resultados evidenció la validez del modelo.

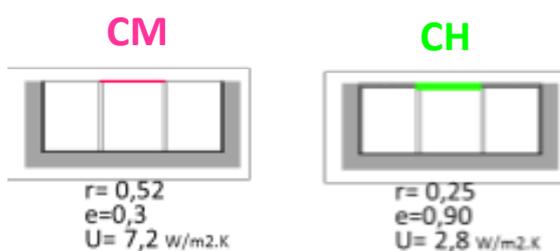
Figura 8. Comparación de los valores simulados con los datos medidos de la temperatura superficial interior de la CM (magenta) y la CH (verde) en un día extremo.



Ya validado el modelo de simulación, en la última etapa, se analizaron todas las variables planteadas.

Para comparar el impacto de cada una de las variables se estableció un modelo base, el cual corresponde a cada una de las características de las cubiertas medidas *in situ*. El modelo base corresponde a una cubierta con una inclinación del 0% dentro de una vivienda de 9x9m. Las características térmicas se describen en la figura 9.

Figura 9. Características térmicas del modelo base de la cubierta metálica y la cubierta de hormigón.



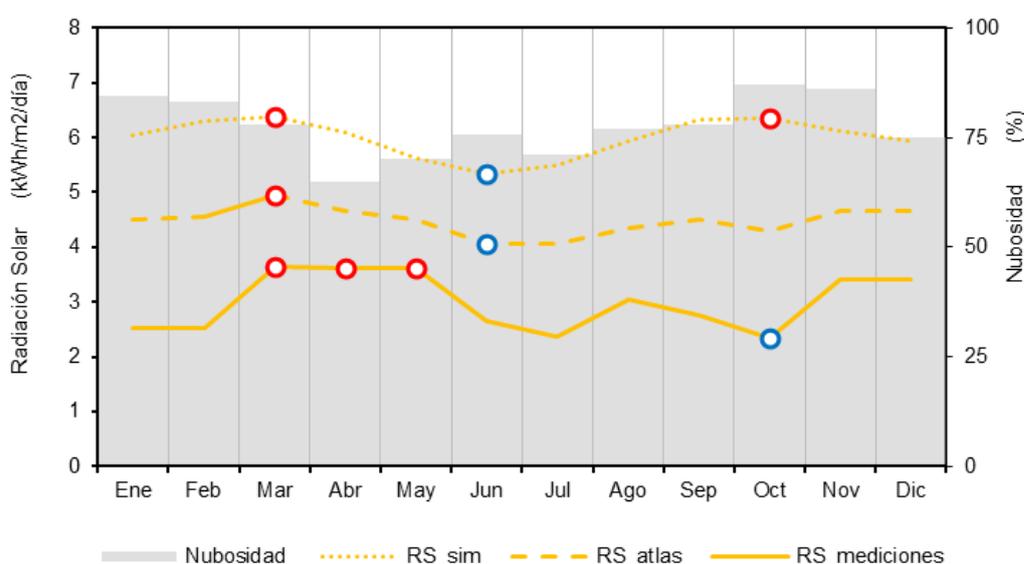
## Resultados y discusión

### Resultados climáticos

Para configurar el modelo climático del software los factores climáticos medidos abordaron diferentes parámetros (temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, velocidad del aire, dirección del aire), no obstante, se centraron en dos en particular, la radiación solar y la nubosidad. En función de detallar la influencia de la nubosidad sobre la radiación solar en la región Costa del Ecuador, se ha hecho un análisis detallado de estos dos factores climáticos. Con este propósito los datos de radiación solar medidos fueron comparados con otros datos obtenidos por diferentes métodos, sistemas de simulación con un cielo despejado (software Heliodon) (Beckers y Masset, 2003), y por el atlas solar obtenidos a través de modelos matemáticos (Conelec, 2008). Cabe recalcar que estos datos obtenidos por simulaciones y modelos matemáticos suelen ser muy usados en otras investigaciones.

La figura 10 muestra los promedios mensuales de radiación solar provenientes de las tres fuentes, la radiación solar medida (línea continua), la radiación del atlas solar que considera una corrección de nubosidad (línea entrecortada) y la radiación solar simulada con un cielo despejado (línea de puntos). Además todos estos valores se comparan con los promedios de nubosidad mensual obtenidos de la plataforma online EarthEnv (Wilson y Jetz, 2016).

Figura 10 Comparación entre los promedios mensuales de la Nubosidad del Cielo y la Radiación Solar obtenidos por: simulación (RS\_simul), atlas solar (RS\_atlas) y mediciones (RS\_medico).



Los valores del atlas solar (RS\_atlas) muestran una reducción anual del 25% en comparación con los datos obtenidos por simulación (RS\_simul). Esta reducción se debe a que el modelo de cálculo utilizado por el atlas solar considera un factor de

corrección por la nubosidad del cielo, mientras que los datos de simulación utilizan un modelo de cielo totalmente despejado. Al analizar los valores medidos por la estación meteorológica (RS\_medic) y compararlos con los simulados (RS\_sim) se muestra una reducción media anual del 50%, y del 25% en comparación con los datos del atlas solar (RS\_atlas). La reducción entre los valores medidos y simulados, van desde un 36% en abril hasta un 65% en octubre, coincidiendo con los meses de menor y mayor nubosidad, 70% y 87% respectivamente.

Aunque la radiación promedio máxima de los datos medidos coincide en el mes de marzo, al igual que en el caso de los datos simulados y del atlas solar, los otros valores mensuales cambian de manera significativa. La mayor variación se muestra en el mes de octubre, que pasa de ser uno de los meses con mayor radiación al mes con menor radiación.

Este análisis evidencia dos aspectos relevantes del impacto de la nubosidad del cielo sobre la radiación solar en esta región.

Por un lado, estos resultados reflejan que la radiación solar global no está influenciada de manera principal por la geometría solar, sino por la nubosidad del cielo. Es decir, los valores máximos y mínimos de radiación solar en esta región no suceden necesariamente en los meses de equinoccio o solsticio respectivamente, sino están función del porcentaje de nubosidad del cielo que exista a lo largo del año.

Por otro lado, los datos analizados muestran que el impacto de la nubosidad sobre la reducción del flujo solar es más fuerte del considerado en el modelo de cálculo del atlas solar. Lo que representa un 25% de diferencia entre los promedios anuales de estos dos valores.

De acuerdo a todo lo expuesto se pueden resaltar varias consideraciones sobre las fuentes que se han utilizado para describir el flujo de radiación solar en esta región.

En primer lugar, los valores de radiación solar obtenidos por simulaciones describen de manera imprecisa el comportamiento de este flujo en esta región, tanto sus tendencias a lo largo del año, como el flujo en términos de cantidad.

En segundo lugar, aunque los valores del atlas solar si describen la tendencia de este flujo en función de la nubosidad a lo largo del año, sus valores aún muestran una diferencia del 25% con los resultados medidos.

Por tanto, el uso de los valores de radiación solar tomados de las simulaciones o del atlas solar, supondría una desviación de los resultados del 50% y 25% respectivamente, en comparación con la radiación solar real.

A través de esta comparación se ha podido determinar la gran variación que existen entre estas 3 fuentes, y evidenciar el margen de error que suponen los datos no medidos. Por lo cual, se justifica que en esta investigación se haya tomado los datos medidos por una estación meteorológica para configurar el modelo climático que se utilizará en las posteriores simulaciones del comportamiento térmico de

las cubiertas. Los datos de factores climáticos medidos y mostrados en esta investigación, en especial los de radiación solar y nubosidad, pueden servir para otras investigaciones, con lo cual se puede reducir el margen de error de los resultados.

### Resultados variables analizadas\_Análisis Térmico

Para determinar la estrategia con mayor influencia sobre la reducción de la  $T_{si}$  de cada cubierta, a continuación, se muestran los resultados de todas las variables analizadas.

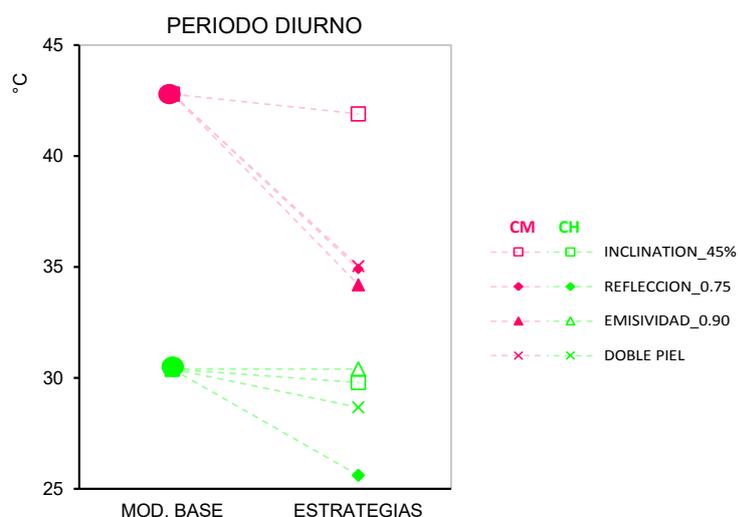
Para simplificar esta comparación se analizan sólo los valores máximos de cada una de las estrategias aplicadas, en comparación con el Modelo Base. Los valores de las variables mostradas corresponden a: una inclinación de 45%, una reflectividad al visible de 0.75, una emisividad al infrarrojo térmico de 0.90 y el uso de la doble capa, tanto en el periodo diurno como en el nocturno.

De acuerdo a los resultados en el PERIODO DIURNO, figura 10, todas las estrategias aplicadas, con excepción de la inclinación, tienen una fuerte influencia sobre la reducción de la  $T_{si}$  de la CM.

La variable que tiene la mayor repercusión sobre la CM es la emisividad al infrarrojo térmico tanto en el Día Promedio como en el Día Extremo. La efectividad de esta variable es mayor que la reflectividad al visible o el uso de una doble capa.

Por otra parte, la única variable que muestra una reducción importante sobre la  $T_{si}$  de la CH es la reflectividad al visible. La influencia del resto de variables sobre la reducción de la  $T_{si}$  de esta cubierta es casi nula, tanto en el Día Promedio como en el Día Extremo.

Figura 11. Influencia de todas las variables analizadas en comparación al Modelo Base en el periodo diurno, en el en el Día Extremo.



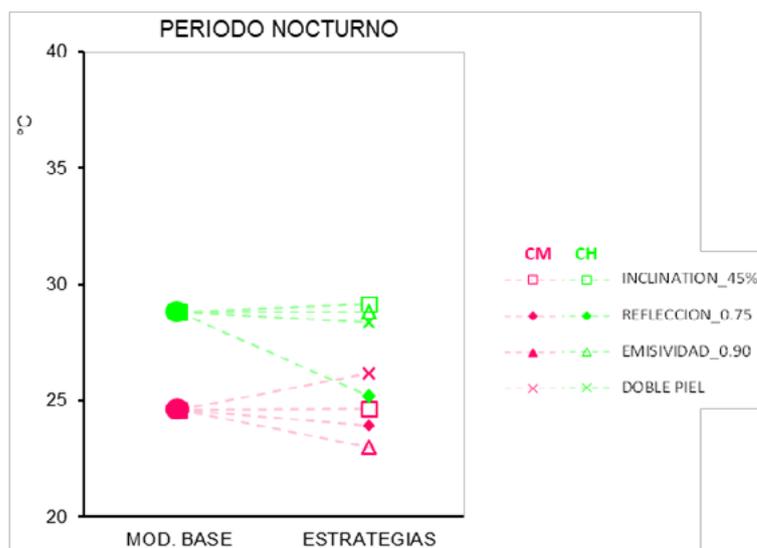
En cuanto al periodo nocturno, figura 12, en referencia a la CM, todas las variables tienen un impacto positivo sobre la reducción de su  $T_{si}$ , con excepción del uso de la doble capa que tiene un impacto negativo en este periodo.

Al igual que en el periodo diurno, la variable con mayor influencia sobre la CM es la emisividad al infrarrojo térmico, por encima de la reflectividad al visible, la doble capa, y por supuesto de la inclinación y orientación.

En cambio, en la CH, con excepción de la reflectividad, todas estas estrategias tienen un impacto mínimo sobre la reducción de la  $T_{si}$ , y hasta negativo en el caso de la inclinación, en los dos días de análisis.

Otra vez, la variable con mayor efectividad sobre la reducción de la  $T_{si}$  de la CH es la reflectividad al visible. En el periodo nocturno, esta propiedad radiativa muestra la mayor influencia en reducción de  $T_{si}$ , entre todas las variables analizadas en las dos cubiertas.

Figura 12. Influencia de todas las variables analizadas en comparación al Modelo Base en el periodo nocturno, en el Día Extremo.



De acuerdo con estos resultados, en el periodo diurno, la variable con mayor efectividad sobre la reducción de la  $T_{si}$  de la cubierta ligera metálica es la emisividad al infrarrojo térmico. En este caso la reducción máxima con respecto al Modelo Base es 6.3°C en el Día Promedio y 9°C en el Día Extremo. La siguiente variable que repercute con una mayor reducción sobre la CM es la reflectividad al visible con 5.3°C y 7.8°C, seguida de la doble capa con 4.5°C y 7.8°C, y por último la inclinación-orientación que tienen una repercusión casi nula con 0.9°C en ambos días.

En el periodo nocturno, la reducción debida a la emisividad al infrarrojo térmico es de 1.2°C con respecto al Modelo Base, tanto en el Día Promedio como en el Día Extremo. Otra vez, la siguiente variable que repercute con una mayor reducción sobre la CM es la reflectividad al visible con 0.6°C, mientras que la doble

capa, y la inclinación-orientación tienen una repercusión negativa en este periodo, alrededor de  $-0.1^{\circ}\text{C}$  y  $-1.6^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

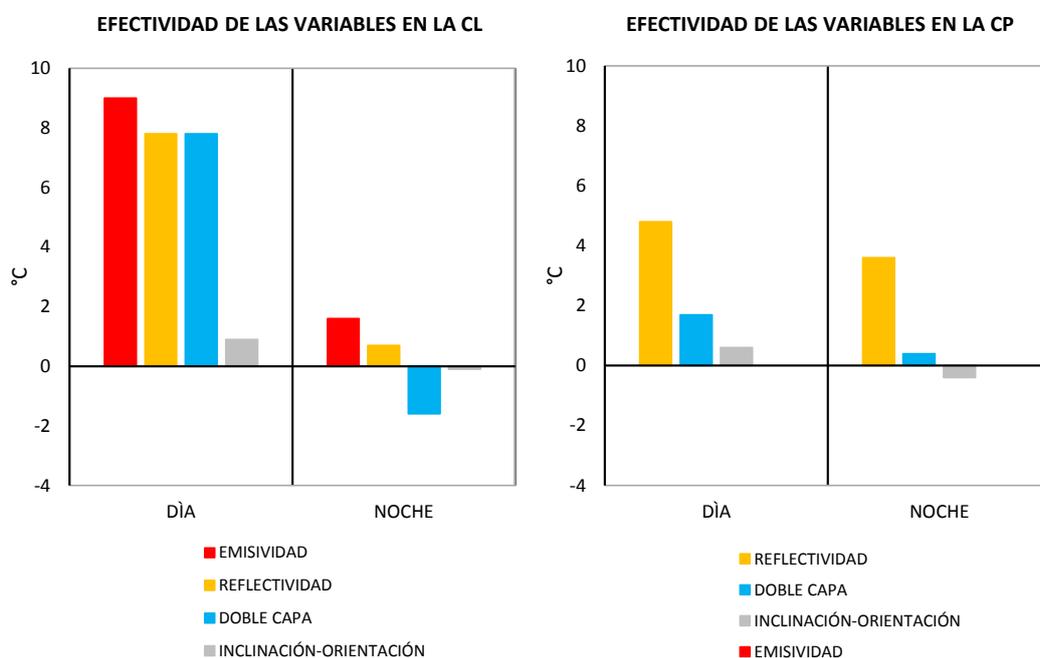
En cuanto a la cubierta pesada de hormigón, la variable que tiene la mayor repercusión sobre la reducción de su  $T_{si}$  es el factor de la reflectividad al visible, tanto en el periodo diurno como en el periodo nocturno.

En el periodo diurno, esta variable muestra una reducción máxima con respecto al Modelo Base de  $3.4^{\circ}\text{C}$  en el Día Promedio y  $4.8^{\circ}\text{C}$  en el Día Extremo. El resto de las variables analizadas tienen una influencia poco significativa sobre la CH, la doble capa  $0.8^{\circ}\text{C}$  y  $1.7^{\circ}\text{C}$ , la inclinación  $0.3^{\circ}\text{C}$  y  $0.6^{\circ}\text{C}$  y la emisividad  $0^{\circ}\text{C}$ .

En el periodo nocturno, la reflectividad al visible repercute con una reducción máxima con respecto al Modelo Base de  $3.1^{\circ}\text{C}$  en el Día Promedio y  $3.6^{\circ}\text{C}$  en el Día Extremo. Otra vez, el resto de las variables muestran un impacto mínimo sobre la reducción de la  $T_{si}$  de la CH, la doble capa  $0.4^{\circ}\text{C}$  e inclusive la inclinación tiene una repercusión negativa.

A continuación, se muestra un resumen de la efectividad máxima de todas las estrategias en la CM y la CH, tanto en el día como en la noche, en el Día Extremo, figura 13.

Figura 13 Efectividad de las variables sobre la reducción de la  $T_{si}$  de la CM (izquierda) y la CH (derecha) respecto al Modelo Base, en el Día y la Noche, en el Día Extremo.



Con todo lo expuesto en este apartado, se ha podido determinar que: las propiedades radiativas son las variables con mayor repercusión sobre la reducción del calentamiento de las cubiertas analizadas, la emisividad al infrarrojo térmico para la cubierta ligera metálica y la reflectividad al visible para la cubierta pesada de hormigón.

Los resultados térmicos obtenidos en la presente investigación, en cuanto a la cubierta pesada, presentan tendencias similares a otros estudios en regiones con condiciones climáticas cálidas sobre la influencia de la reflectividad en la temperatura interior de la cubierta (Tong, 2014; Shittu, 2020). De acuerdo a Tong (2014), el incremento del 50% del índice de reflectividad en una cubierta de hormigón representa una reducción de 5°C, mientras que los resultados mostrados en el presente estudio, con el mismo incremento de reflectividad se ha obtenido una reducción de 4.2°C. No obstante, de acuerdo a otras investigaciones (Al-Obaidi, 2014; Ghaedi, 2012), la influencia de la inclinación y orientación resultan ser variables de total importancia para la reducción del sobrecalentamiento interior de las cubiertas, y por ende en la reducción del discomfort térmico interior. En cambio, en la región de estudio, estas variables tienen una influencia casi nula. Esto se debe, a la predominancia de la radiación solar difusa en la Región Costa del Ecuador, lo que hace que la captación solar no dependa principalmente de la direccionalidad de los rayos solares, sino de la porción de bóveda celeste vista.

En referencia a la Cubierta Ligera Metálica, los resultados obtenidos tienen una tendencia diferente a los obtenidos en otras investigaciones, donde la variable de la doble piel tiene un alto impacto sobre la reducción de la temperatura superficial interior de la cubierta, tanto en el día como en la noche (IDRIS et.al., 2017). Por el contrario, en la región de estudio, esta variable tiene una fuerte repercusión sólo en el día, mientras que en la noche se observa un efecto negativo. Esta diferencia se debe a que en la zona costera del Ecuador, la capacidad de enfriamiento radiativo que ofrece el cielo es bastante reducido, dada la alta nubosidad que presenta esta región. Esto provoca que las cubiertas de doble piel, no alcancen a reducir su temperatura como lo hacen las cubiertas de una sola capa. La misma tendencia se observa, en relación a esta variable, sobre la Cubierta Pesada de Hormigón. En otro estudio (ZINGRE et al., 2015), la doble capa genera un impacto significativo en la reducción de la temperatura interior de la cubierta de hormigón, mientras que, en el presente estudio la repercusión de esta variable es casi nula, tanto en el periodo diurno como en el periodo nocturno.

### **Resultados variables analizadas\_ análisis económico.**

Una vez analizadas las variables desde el punto de vista térmica, se ha analizado la factibilidad económica de cada una de las estrategias.

En cuanto a la variable de la inclinación, se ha contabilizado el costo de la estructura y la cantidad de material excedente de cada cubierta que se necesita para tener una pendiente del 45%.

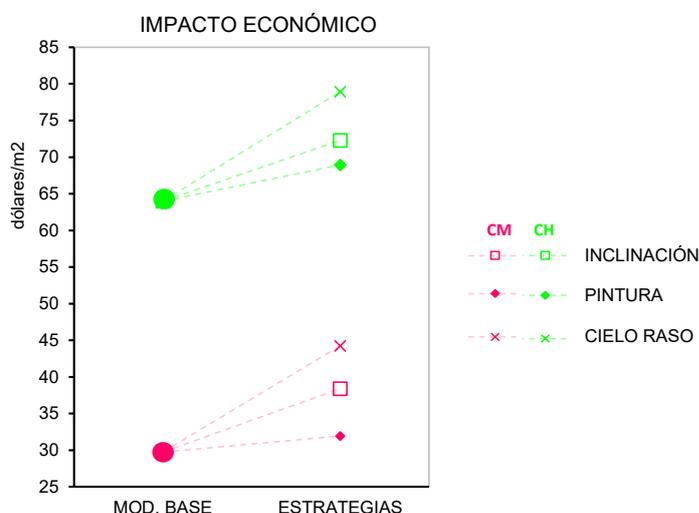
En referencia a las variables de la reflectividad y emisividad, se ha conseguido incrementar estas dos propiedades térmicas con el uso de una pintura esmalte mate de color blanco. El uso de esta pintura aumenta la reflectividad de la superficie metálica y de hormigón a 0.75, y la emisividad a 0.95.

La última de las estrategias, el uso de una doble capa, esta estrategia hace referencia al uso de un cielo raso con una separación de una cámara de aire ventilada de mínimo de 10 cm. Para el cálculo económico de esta estrategia se ha considerado un cielo raso de yeso cartón sujeto con perfilera de aluminio y empastado y pintado por su parte inferior.

Además de todas las variables evaluadas térmicamente, se ha evaluado en el aspecto económico de otra estrategia que se está popularizando en el ámbito local de la construcción del Ecuador, la cual es el uso del aislamiento.

El impacto económico de todas las variables en comparación con el modelo base se muestran en la figura 14.

Figura 14. Impacto económico de cada una de las variables analizadas en comparación con el modelo base.



De acuerdo con estos resultados, la estrategia que tiene un mayor costo de implementación en las dos cubiertas es el cielo raso dado que se incrementa \$14.50/m<sup>2</sup> en las dos cubiertas, y la de menor costo es el uso de la pintura con un costo adicional de \$2.22/m<sup>2</sup> en la CM y de \$4.97/m<sup>2</sup> en la CH. En el caso de la inclinación, el incremento en la CM es de \$8.67/m<sup>2</sup> y en la CH es de \$8.30/m<sup>2</sup>.

Analizando en forma conjunta todos los resultados térmicos y económicos se establece que el uso de la pintura, para incrementar la reflectividad y la emisividad en las dos cubiertas, resulta ser la estrategia más adecuada en el clima cálido húmedo del Ecuador.

Aunque el uso de una doble capa en la cubierta metálica, en el caso práctico el uso de un cielo raso de yeso cartón, tiene una repercusión térmica casi igual al uso de la pintura, esta estrategia supone un incremento económico mucho mayor. Por último, la estrategia de la inclinación es la menos recomendable en este clima, dado que supone una reducción de temperatura casi nula y además significa un incremento económico representativo en las dos cubiertas.

Los resultados obtenidos en este capítulo, y las diferencias evidenciadas con otras investigaciones, reflejan la necesidad de la investigación focalizada, antes de plantear lineamientos de diseño. En función de esto, a través de este estudio se ha podido plantear estrategias acordes a las condiciones y necesidades específicas de la Región Costa del Ecuador, tanto en el ámbito térmico como económico.

## Conclusiones

Este trabajo analiza el impacto térmico y económico de diferentes estrategias para reducir el sobrecalentamiento interior de las dos tipologías de cubiertas más utilizadas en la Región Costa del Ecuador: la cubierta metálica y la cubierta de hormigón.

La variable con mayor influencia sobre la reducción de temperatura de las cubiertas metálicas (cubierta de galvalume) es la emisividad al infrarrojo térmico, seguido de la reflectividad al visible, el uso de la doble capa y la inclinación de la cubierta.

En el caso de la cubierta de hormigón, la variable con mayor influencia sobre la reducción de su sobrecalentamiento interior es la reflectividad. El resto de las variables suponen una influencia casi nula.

La conclusión general de esta investigación establece que la estrategia más factible en este clima, tanto en el aspecto térmico como económico, es el recubrimiento de una pintura esmalte mate de color blanco para incrementar los parámetros de reflectividad y emisividad en las dos cubiertas.

## Referencias

- Allen, L. K. K., Elias, S. & Lim, C. H. (2008). *Thermal Performance Evaluation of roofing systems and materials in Malaysian residential development*. En Proceedings of SENVAR, ISESEE, Humanity and Technology. pp. 387–395.
- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M. and Abdul Rahman, A. M. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review, *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), pp. 283–297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>.
- Al-Saggaf, A., Nasir, H., & Taha, M. (2020). Quantitative approach for evaluating the building design features impact on cooling energy consumption in hot climates. *Energy and Buildings*. 211, pp. 109802. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109802>
- ARCONEL. (2013). Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano 2010. Retrieved from <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/boletines-estadisticos/>.
- ARCONEL. (2014). Estadística Sector Electrico Ecuatoriano 2014C. Retrieved from <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/boletines-estadisticos/>.
- ARCONEL. (2020). Balance Nacional de Energía a Enero 2020. Retrieved from <https://www.regulacioneolica.gob.ec/balance-nacional/>
- Arellano, B. & Roca, J. (2015). Global Urban Sprawl, in International Conference on Regional Science, pp. 121–145.
- Ayuso, J., Ikaga, Y., y Vega, S. (2018). Quantitative improvement in workplace performance through biophilic design: A pilot experiment case study. *Energy and Buildings*. 177, pp. 316-328. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.065>
- Beckers, B. & Masset, L. (2003). *HeliodonTM\_2.6-1 software*. Retrieved from [www.heliodon.net](http://www.heliodon.net).
- Beckers, B. (2012). *Solar energy at urban scale*. Hoboken: John Wiley & sons.
- Bertoldi, P. & Atanasiu, B. (2009). Electricity consumption and efficiency trends in European Union, JRC Scientific and Technical Reports. Retrieved from <http://doi:10.2788/39332>
- CCE. (2011). Eficiencia energética en la construcción en Ecuador. *11th edn, Norma Ecuatoriana de la Construcción*. 11th edn. Quito, Ecuador.
- Dollfus, J. (1954). *Les aspects de l'architecture Populaire dans le monde*. París: Editions Albert Morancé.

- Downs, A. (1999). Some Realities about Sprawl and urban decline, *Housing Policy Debate*, 10(4), pp. 955–974.
- Coch, H. (1998). Bioclimatism in vernacular architecture, *Renewable and Sustainable Energy and Reviews*, 2, pp. 67–87.
- Coch, H. & Serra, R. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC.
- Conelec. (2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*, Corporación para la Investigación Energética. Quito, Ecuador.
- CONELEC. (1999). *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano 1990-1988*. Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.conelec.gob.ec/>.
- De Diego, M. (2017). *Arquitectura alternativa iii: arquitecturas de emergencia*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Der-petrossian, B. & Johansson, E. (2001). Construction and Environment – Improving energy efficiency, *Building Issues 2000*, 10(2), pp. 1–21.
- DesignBuilder. (2016). DesignBuilder Software Ltd - Home. Retrieved from <https://www.designbuilder.co.uk/> (Accessed: 12 January 2016).
- DOE. (2017). EnergyPlus Licensing | EnergyPlus. Retrieved from <https://energyplus.net/licensing>
- Gad\_Santarosa (2016) *Catastro Municipal De Santa Rosa*. Santa Rosa.
- Ghaedi, A., Ghaedi, H. and Ghaedi, H. (2012) .The Role of Roof Shapes in Design of Green Building Systems (Case Study: Iran, BandarAbbas), in *Procedia AP-CBEE*, pp. 335–340. Retrieved from: <http://10.0.3.248/j.apcbee.2012.03.055>.
- Golany, S. (1996). Urban design morphology performance, *Atmospheric Environment*, 30(3), pp. 455–465.
- Idris, A., Virgone, J., Vergnault, E., David, D. and Idriss, A. I. (2017) .Energy Saving Potential with a Double-Skin Roof Ventilated by T Natural Convection in Djibouti, in *Energy Procedia*, pp. 361–373. <http://10.0.3.248/j.egypro.2017.11.149>.
- INEC. (1990). *Censo De Población Y Vivienda 1990*. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/sistema-integrado-de-consultas-redatam/> (Accessed: 1 May 2016).
- INEC. (2010). *Censo De Población Y Vivienda 2010*. Retrieved from <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl> (Accessed: 1 May 2016).
- INEC. (2011). *X Censo Nacional de Población y VI Vivienda de 2011*. Retrieved from <http://sistemas.inec.cr:8080/bincri/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=2011&lang=esp> (Accessed: 3 March 2018).

- INEC. (2018). Encuesta de Edificaciones (ENED). Retrieved from: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/edificaciones/>
- Jayasinghe, M. T. R., Attalage, R. A. & Jayawardena, A. I. (2003). Roof orientation, roofing materials and roof surface colour: their influence on indoor thermal comfort in warm humid climates, *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative, Inc., 7(1), pp. 16–27.
- Koenigsberger, O., Ingersoll, T., Mayhew, A. & Szokolay, S. (1975). *Manual of tropical housing and building climatic design*. Hyderabad: Orient Blackswan.
- Konya, A., Swanepoel, C. & Fontes, R. (1981). *Diseño en climas cálidos manual práctico*. Madrid, España: H. Blume.
- Kua, H. W. and Wong, C. L. (2012). Analysing the life cycle greenhouse gas emission and energy consumption of a multi-storied commercial building in Singapore from an extended system boundary perspective, *Energy and Buildings*, 51, pp. 6–14. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.027>.
- Kumar, M., Mahapatra, S. & Atreya, S. K. (2009). Bioclimatism and vernacular architecture of north-east India, *Building and Environment*, 44, pp. 878–888. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.008>.
- Lauber, W., Cheret, P., Ferstl, K. & Ribbeck, E. (2005). *Tropical architecture: sustainable and humane building in Africa, Latin America, and South-East Asia*. New York: Prestel.
- Levine, M., D., Ü.-V., K., B., Geng L., H. D., S., L., G., L., A., M. M., et al. (2007). Residential and commercial buildings. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Liu, F., Meyer, A. S. & Hogan, J. (2010). *Mainstreaming building energy efficiency codes in developing countries: global experiences and lessons from early adopters*. Washington, DC: World Bank.
- Mouratidis, K. (2019). Compact city, urban sprawl, and subjective well-being. *Cities*, 92, pp. 261-272. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.013>
- Nahon, R. (2016). Impact of the anisotropy of the sky vault emissivity on the building envelope radiative Budget. *En 1er International Congress on Urban Physics (FICUP)*. 188-198. Quito-Ecuador.
- NOVACERO. (2016). Catálogo de productos novacero. (Accessed: 1 June 2016). Retrieved from [www.novacero.com](http://www.novacero.com).
- Nurnberg, D., Ycaza, J. E. & Holm, O. (1982). *Arquitectura vernácula en el litoral*. Guayaquil, Ecuador: Archivo Histórico del Guayas.

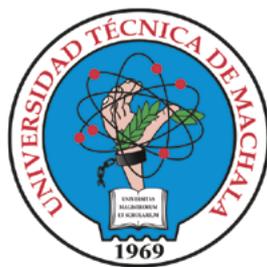
- Oficina Nacional de Estadística (ONE) (2010). IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Retrieved from <http://redatam.one.gob.do/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl> (Accessed: 3 March 2018).
- Shittu, E., Stojceska, V., Gratton, P. & Kolokotroni, M. (2020). Environmental impact of cool roof paint: case study of house retrofit in two hot islands. *Energy and Buildings*, 217, pp 1-12. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110007>
- Shuai, S., y Fan, Z. (2020). Modeling the role of environmental regulations in regional green economy efficiency of China: Empirical evidence from super efficiency DEA-Tobit model, *Journal of Environmental Management*, 261, pp. 316-328, Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110227>
- Tong, S., Li, H., Zingre, K. T., Wan, M. P., Chang, V. W. C., Wong, S. K., Toh, W. B. T., et al. (2014). *Thermal performance of concrete-based roofs in tropical climate. Energy and Buildings*, 76, pp. 392–401. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.076>.
- Torres, J., Coch, H., Isalgué, A., y López, J. (2018a). The Roof Impact on the Heat Balance of Low Height Buildings at Low Latitudes. *En 34Th International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA): Smart and Healthy within the 2-degree limit, Vol3, pp. 937-938, Hong Kong-China*.
- Torres, J. (2018b). Comportamiento Térmico de La Cubierta en un clima cálido húmedo, Repercusión energética en el edificio. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10803/664053>.
- Ubidia, J. A. M., Ruiz, M. C. G. & Navarrete, I. P. (1987). Vocabulario de arquitectura campesina en el litoral ecuatoriano. Quito, Ecuador: Museo Antropológico del Banco Central del Ecuador.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, (ST/ESA/SER.A/366).
- Wang, X., Shi, R. y Zhou, Y. (2019). Dynamics of Urban Sprawl and Sustainable development in China. *Socio-Economic Planning Sciences*. (in press). Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100736>
- WeatherCompanyLLC (2016a). ESTACION METEOROLÓGICA SANTA ROSA. (Accessed: 24 December 2016). Retrieved from <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IELOROEL3#history>
- WeatherCompanyLLC (2016b). ESTACIÓN METEOROLÓGICA IELOROEL2 (El-Cambio). (Accessed: 24 December 2016). Retrieved from <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IELOROEL2#history>

- Whitney, W. D. & Smith, B. E. (1901). *The Century dictionary and cyclopedia*. New York: Century CO.
- Wilson, A. & Jetz, W. (2016). *Remotely Sensed High-Resolution Global Cloud Dynamics for Predicting Ecosystem and Biodiversity Distributions.*, *PLoS biology*. Retrieved from <http://www.earthenv.org/>. (Accessed: 10 May 2016).
- Yépez, D. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable*. (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Zingre, K. T., Wan, M. P., Wong, S. K., Toh, W. B. T. and Lee, I. Y. L. (2015) .Modelling of cool roof performance for double-skin roofs in tropical climate, *Energy*, 82, pp. 813–826. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.092>.

Universidad Técnica de Machala

Ediciones UTMACH  
Primera edición en español 2020  
PDF interactivo





Universidad Técnica de Machala  
Dirección de Investigación

ISBN: 978-9942-24-139-9



Av Panamericana Km 5-5  
+593 7 2983362  
[utmachala.edu.ec](http://utmachala.edu.ec) / [investigacion.utmachala.edu.ec](http://investigacion.utmachala.edu.ec)