

Estudio bioclimático **CASA MANABÍ**

abril 2021

Elaborado por: **Jefferson Torres-Quezada**

C

INTRODUCCIÓN.

Desde los inicios de las civilizaciones, las condiciones climáticas han definido tanto las características arquitectónicas como constructivas de cada región. Entre muchos ejemplos podemos nombrar las viviendas de adobe de muros gruesos de nuestros Andes, que permiten la acumulación de calor y evitar el frío extremo de esta zona climática; o en el otro extremo, las viviendas de caña guadua y grandes aleros de nuestras costas, que permiten la ventilación natural y la protección de los rayos solares. Conforme a esto, las características propias de cada arquitectura han sido una respuesta al clima donde se emplazan, y aún más importante, este vínculo entre arquitectura-clima siempre ha buscado asegurar el confort del usuario.

SIN EMBARGO, en la actualidad, este vínculo entre el edificio y su entorno climático se ha roto, y las condiciones de confort del usuario se han asegurado con el uso de nuevas tecnologías como sistemas activos de refrigeración o calefacción. Estos nuevos avances han dado comodidad a los arquitectos, dejando a un lado el diseño sustentable de la arquitectura. Más aún, el abuso de estos sistemas de climatización ha traído consecuencias en el ámbito ecológico, energético y económico, tanto a nivel local, nacional y mundial.

Desde la revolución industrial y tras el descubrimiento de los recursos fósiles como energía, los gases invernadero se han incrementado exponencialmente, lo que a su vez ha incrementado en varios grados la temperatura del planeta. De acuerdo con el reporte IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) las emisiones de CO₂ de los edificios alcanzará las 16 Gt para el 2030, principalmente como resultado del incremento del consumo energético de los países dependientes de recursos fósiles [Levine *et al.*, 2007]. Este es el caso de Ecuador, donde la mayor parte de la energía producida deriva del petróleo [MCSE, 2015].

En nuestro país, uno de los principales responsables del consumo de esta energía es el sector residencial [ARCONEL, 2014]. Bajo este contexto, autoridades, promotores, usuarios, y por supuesto los arquitectos tenemos en nuestras manos hacer el uso responsable de estas energías, a través de un diseño responsable, consiente de su entorno climático y acorde a las necesidades del usuario. Bajo este contexto, el conocimiento minucioso de los factores climáticos donde se emplaza cada edificio que proyectamos es el fundamento para las decisiones arquitectónicas y constructivas que tomamos

El presente estudio aborda el estudio bioclimático del proyecto Eco Museo Biblioteca que pretende rehabilitar la Casa Manabí ubicado en la ciudad de Quito-Ecuador, el cual será dividido en 4 partes. En primer lugar una descripción detallada del clima de la ciudad. Segundo, un análisis térmico de las condiciones interiores del edificio en el estado actual y la propuesta, tanto de la temperatura y humedad relativa interior. En tercer lugar, un análisis lumínico de los espacios interiores en el estado actual y la propuesta. Y por último, se aborda un apartado de estrategias acústicas.

1. EL CLIMA

La ciudad de Quito se encuentra ubicada en la latitud $0^{\circ}14'S$, con una altitud de 2850 msnm. De acuerdo a MDUV (2011) esta ciudad se encuentra ubicada en la zona climática ZT3, con un rango de temperatura medida entre $14^{\circ}C - 18^{\circ}C$. Esta ciudad posee 2 estaciones: un invierno lluvioso (Octubre – Mayo) y un verano seco (junio-septiembre), aunque debido a la temperatura media casi constante a lo largo del año, es imperceptible el cambio entre estaciones.

Aunque estos datos presentan una información relevante del clima de Quito es necesario describir a detalle los factores climáticos de esta ciudad. Por lo tanto a continuación se detallan diferentes rangos de los parámetros de la temperatura del aire, humedad, vientos, precipitaciones y radiación solar.

1.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD.

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y los datos del Archivo climático QUITO - ECU IWEC Data, obtenido de la página de Energy Plus (Energy Plus, 2017), la temperatura media anual de Quito es de $14.5^{\circ}C$ y la oscilación media anual es apenas de $1^{\circ}C$. No obstante, la oscilación diaria es de $11.6^{\circ}C$, lo que implica grandes repercusiones en la edificación por los altos saltos térmicos que se tiene en un día, ver Fig. 1.

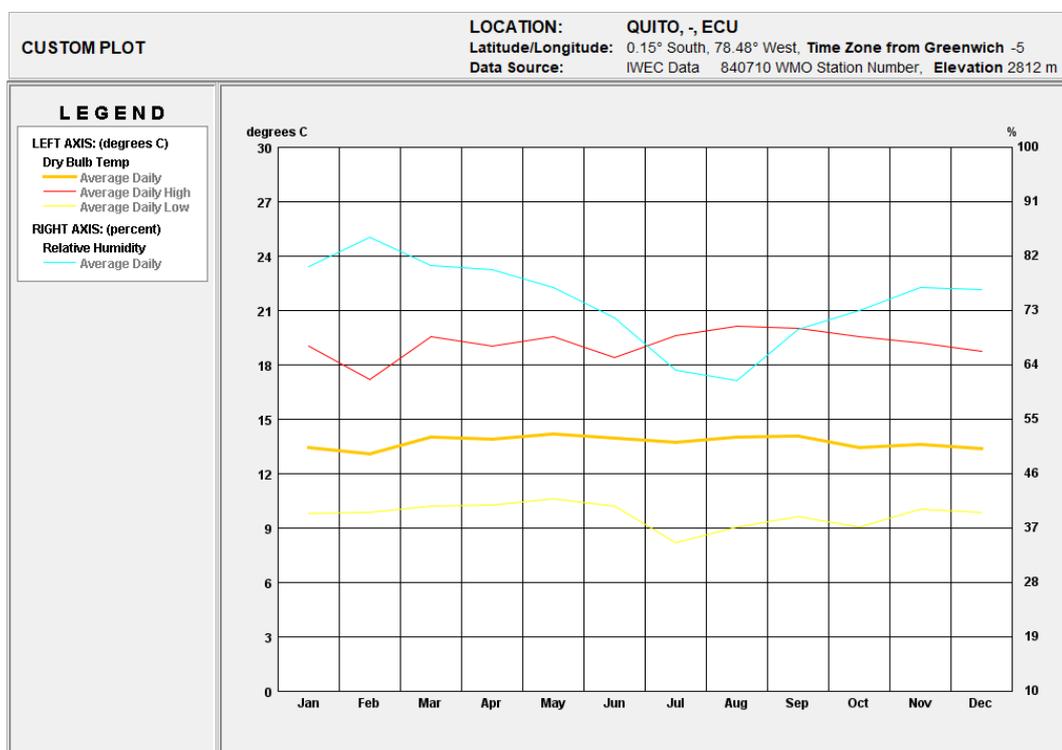


Fig. 1 Temperatura promedio máxima (rojo), media (naranja), mínima (amarillo), y humedad relativa media (cyan). Datos tomados del EPW de Quito y analizada con el software Climate consultant.

En cuanto a los niveles de humedad en esta ciudad, ver Fig. 1, se mantienen entre el 62% al 84%. Los máximos niveles de humedad suceden en febrero y los mínimos en julio y agosto. Estos altos niveles de humedad pueden incrementar la sensación de frío en esta ciudad.

Durante los 365 del año, la temperatura del aire exterior a lo largo del día puede variar de los 8°C hasta los 20°C aproximadamente. En el periodo diurno empieza alrededor de los 8°C (06h00), a partir de las 10h00 hasta las 18h00 se encuentra entre los 15°C a 20°C como máximo. Finalmente, en el periodo nocturno la temperatura varía entre los 9°C a 15°C en promedio.

1.2 PRECIPITACIONES

Otro factor climático que caracteriza al Ecuador y por supuesto a la ciudad de Quito, son los altos niveles de precipitaciones. De acuerdo con los datos obtenidos del INAMHI, las mayores lluvias se concentran en el mes de febrero con 196 mm, ver Fig. 2. Dados los altos niveles de precipitaciones en esta región, la elección de la forma y los materiales serán determinantes para el proyecto.

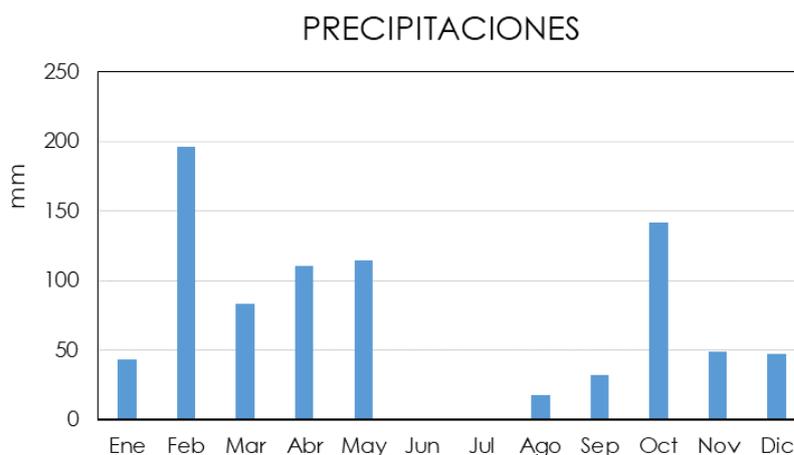


Fig. 2 Nivel de precipitaciones mensuales en la ciudad de Quito. Datos tomados del anuario meteorológico 2017 del INAMHI (EM_INAMHI UTM)

1.3 VIENTOS

En cuanto a los vientos, las más altas velocidades promedio y de mayor frecuencia que se registran son de 3 m/s provenientes del noreste y suroeste, ver Fig. 3. Esta variable resulta de fundamental importancia, ya que puede influenciar en el desempeño térmico del edificio

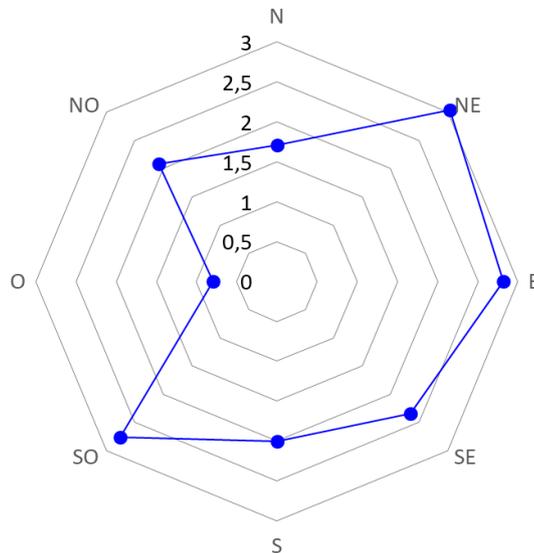


Fig. 3 Promedio anual de la Velocidad y dirección del viento en la ciudad de Cuenca. Datos tomados del anuario meteorológico 2017 del (INAMHI, 2017).

1.4 RADIACIÓN SOLAR

Dada la ubicación geográfica del Ecuador, todo su territorio se encuentra muy cercano a la latitud 0° , y Quito, específicamente, tiene la particularidad de estar atravesado por esta línea. Por lo tanto, los recorridos solares en esta ciudad son muy perpendiculares al plano horizontal durante todo el año. Esta condicionante geográfica tiene una repercusión importante en la captación solar del edificio. No obstante, la captación en el día puede ser perjudicial para la sensación de confort interior.

A continuación, se describen a detalle los recorridos solares y la captación solar en la ciudad de Quito.

En el caso del sector de la Casa Manabí, a una latitud de $0^{\circ}14'$ Sur, la altitud más alta del sol es de 90° el 21 de marzo y 21 de septiembre, y las altitudes más bajas son aproximadamente de 67° en los solsticios del 21 de junio y el 21 de diciembre. A continuación, se muestra un estereográfico solar de este sector, Fig. 4.

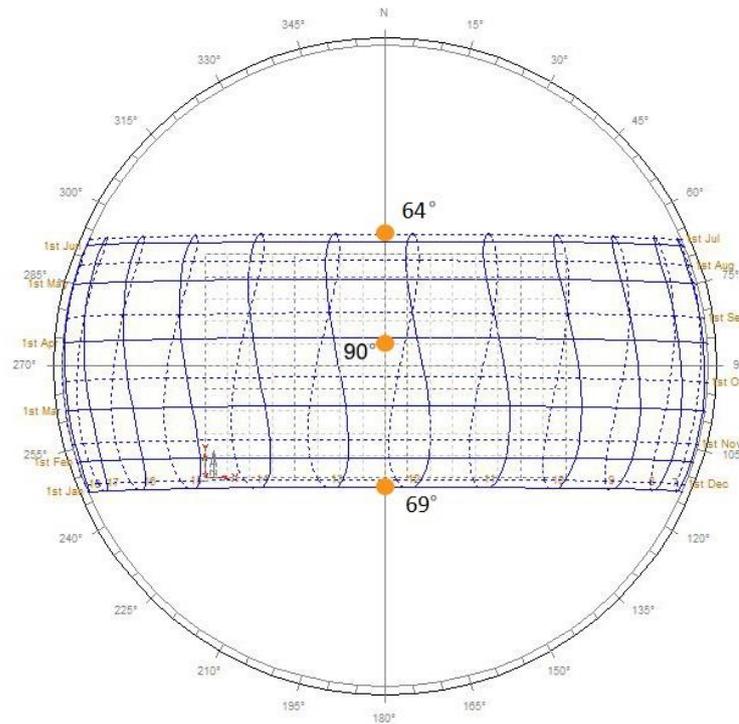


Fig. 4 Estereográfico solar en el sector de la casa Manabí (0°14' Sur). Imagen tomada del software Heliodon (Beckers y Masset,2003).

En cuanto al análisis de captación solar, nos permite conocer cuanto energía se recibe dependiendo de las diferentes orientaciones de nuestro edificio. Dadas las condiciones del terreno, la implantación del proyecto tiene una orientación norte con una ligera inclinación de 8° hacia el oeste.

En base a esto, se ha calculado la radiación solar de las 4 fachadas y la cubierta de acuerdo a la orientación planteada en el diseño, Fig. 5.

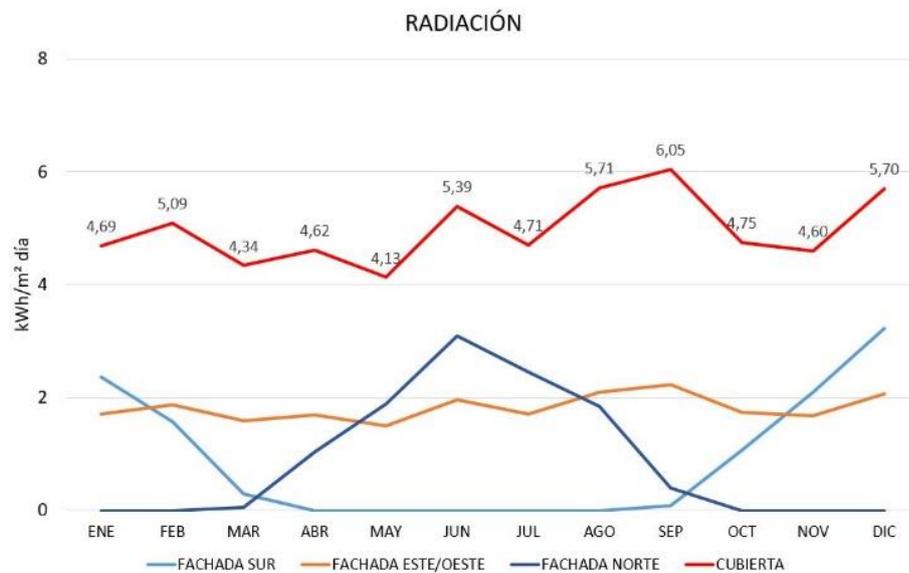


Fig. 5 Incidencia solar latitud 0°14'. Fuente: Elaboración propia a partir de información del INAMHI y el software Heliodon (Beckers, 2003)

De acuerdo con los datos obtenidos, la superficie de la envolvente que mayor radiación solar capta es la cubierta, debido a la perpendicularidad de los recorridos solares en esta localización geográfica. En cuanto a los planos verticales, la orientación Norte tiene su mayor captación en el mes de junio, alrededor del solsticio de invierno; mientras que la orientación sur recibe la mayor radiación solar en el solsticio de verano, en el mes de diciembre. No obstante, dada la configuración de adosamiento y orientación de la Casa Manabí sólo el lado sureste y suroeste tendrían captación solar.

Conforme a esto la cubierta recibe una radiación solar promedio anual de 5,6 kWh/m².día, mientras que las orientaciones norte, este, sur y oeste reciben 2,3 kWh/m², 2,8 kWh/m², 2,2 kWh/m² y 2,8 kWh/m².día respectivamente.

Una vez analizado el clima de Quito se ha escogido dos días para las futuras simulaciones, un día con una temperatura y radiación solar promedio a lo largo de todo el año, y un día con condiciones extremas de frío, es decir un día con condiciones de cielo totalmente nublado. Los datos horarios de temperatura, humedad, radiación solar, etc de estos dos días se han tomado del archivo EPW_Quito.

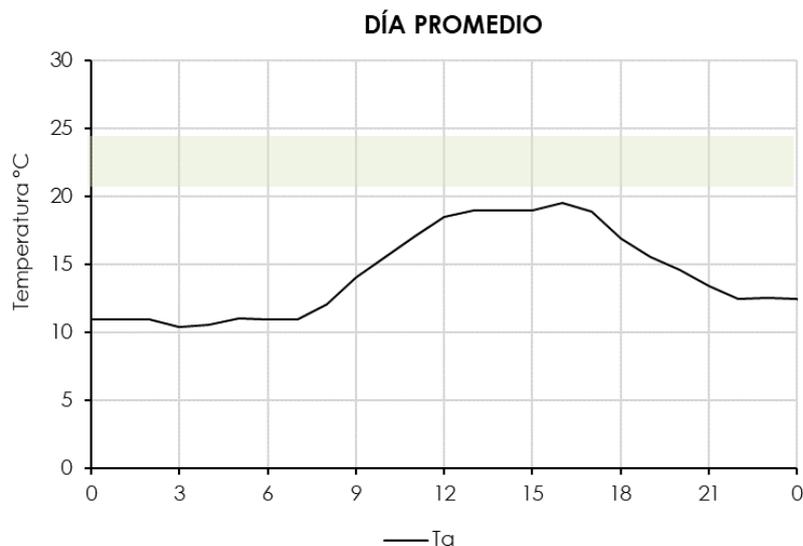


Fig. 6 Datos de temperatura del aire exterior en Quito de un día promedio.

2. ANÁLISIS TÉRMICO

2.1 EL CONFORT TÉRMICO

Una vez descritas las condicionantes climáticas de la ciudad de Quito, es necesario conocer que consecuencias térmicas tienen estos factores sobre el usuario. Como se ha dicho, las temperaturas medias en esta ciudad varían de 9°C a 20°C. Aunque ya son temperaturas bastante frías, este factor sumado a los altos niveles de humedad incrementa las condiciones de discomfort térmico, lo cual es notable en el día a día de esta ciudad. No obstante, a través de la percepción simple también existen periodos de discomfort por sobrecalentamiento.

2.1.1 RANGOS DE CONFORT DE ACUERDO A NORMATIVAS.

Aunque el Ecuador no cuenta con normativas especiales para definir el confort térmico interior de edificaciones de ningún tipo, se registra un capítulo de eficiencia energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que establece un rango de confort entre 18°C hasta 26°C, (MDUV, 2011). Este rango no considera, niveles de humedad, viento o actividad física. Por lo tanto, se tomados normativas internacionales para definir los niveles de confort en la ciudad de Quito.

A continuación, se detallan dos metodologías que detallan el rango de confort tomando en consideración varios parámetros ambientales y fisiológicos.

En primer lugar se ha tomado **el ábaco Psicrométrico de Givoni**, ver

Fig. 7, el cual relaciona la temperatura del aire o bulbo seco con los niveles de humedad relativa. En este gráfico se muestra que sólo 1419 horas de todo el año están en confort, el resto de horas la temperatura de Quito se encuentra en discomfort. De acuerdo a esta metodología, donde se ha configurado en base al California Energy Code, el rango de confort se establece de 18°C a 24°C con una humedad relativa entre el 20% al 60%, mientras que con una humedad por arriba del 60% la temperatura de confort se marca entre los 18°C a 22°C.

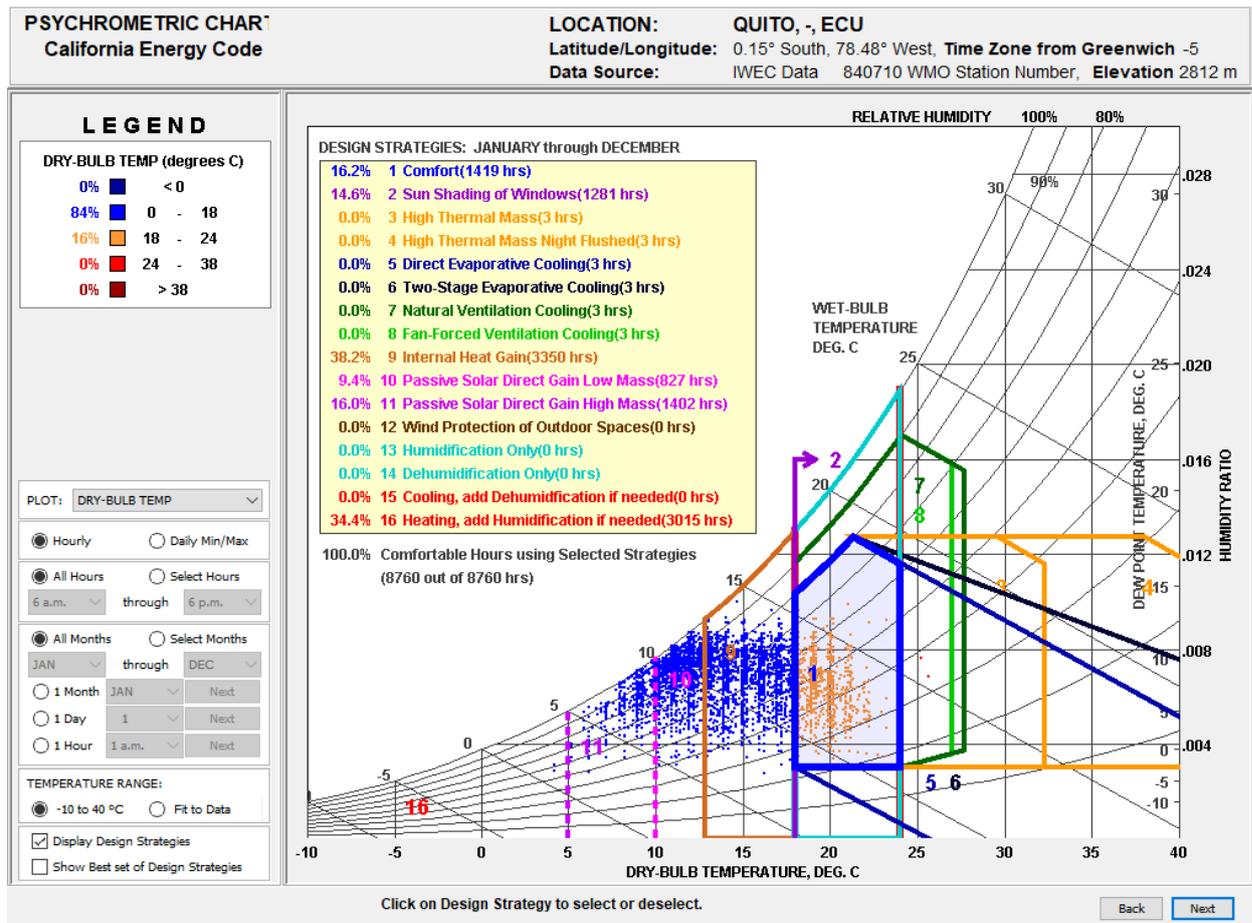


Fig. 7 Evaluación de Confort de las temperaturas del aire en el terreno de Quito en las 24 horas del todos los días del año de acuerdo al ábaco Psicrométrico de Glvioni. Imagen obtenida con el software Climate Consultant, en base a los datos obtenidos del archivo EPW.

Para profundizar este análisis, se ha analizado de manera independiente el periodo nocturno y diurno. De acuerdo con esto se ha analizado la temperatura hora a hora en los periodos de: 06h00 a 18h00, y de 18h00 a 06h00, durante los 365 días del año.

En el primer periodo (06h00 a 18h00) se obtiene que 1418 horas de este periodo está en la zona de confort, lo que representa el 29% del total de horas (4380 horas) de este periodo,

Fig. 8, donde se recomienda controlar el acceso solar. Estas horas se refieren a las horas del medio día. No obstante, 2295 horas, de acuerdo a este simulador, recomienda tener ganancias internas de calor para alcanzar el confort. Este comportamiento térmico se tratará de corroborar en las simulaciones posteriores y contrarrestar con estrategias pasivas.

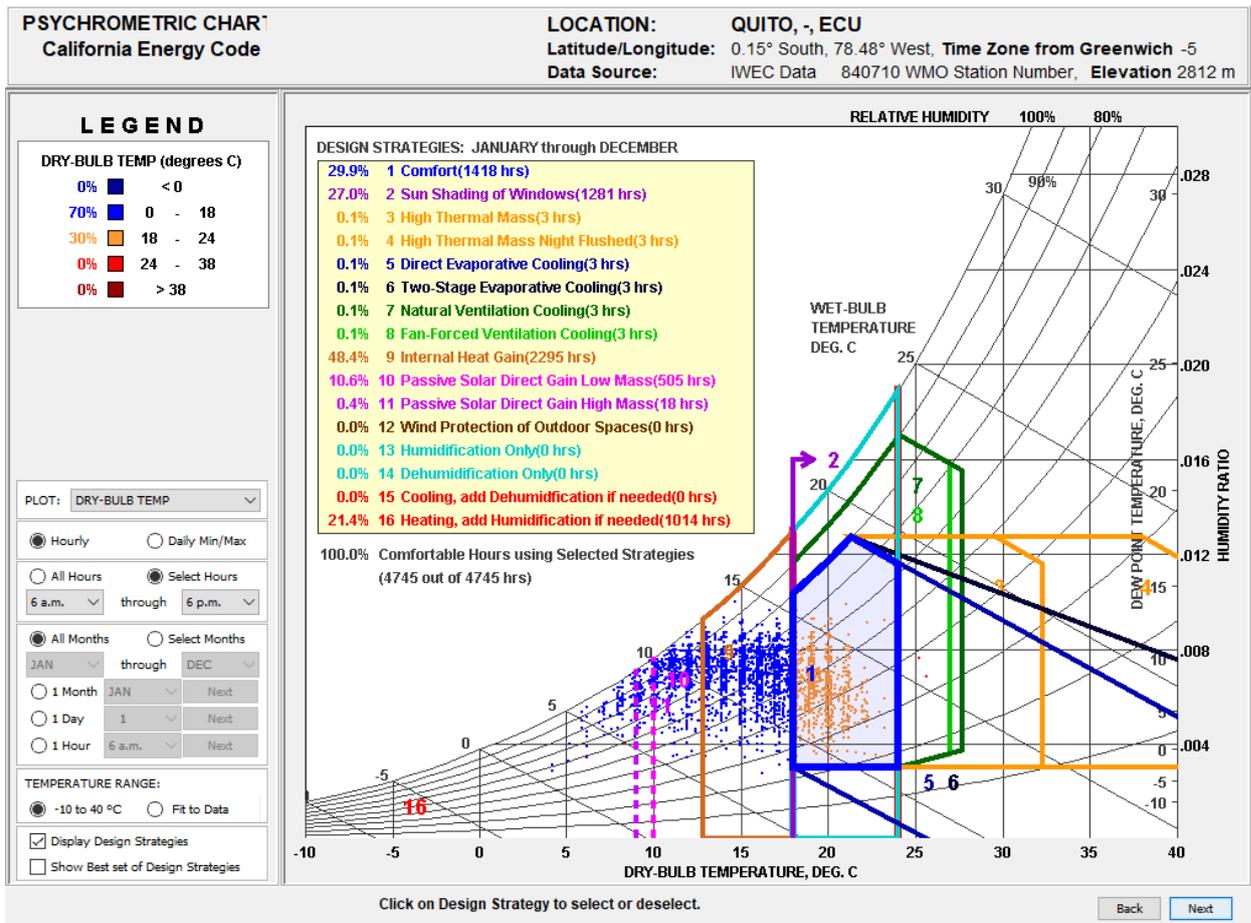


Fig. 8 Evaluación de Confort de las temperaturas del aire en el terreno de Quito en el periodo de 06h00 a 18h00 de todos los días del año, de acuerdo al ábaco Psicrométrico de Glvoni. Imagen obtenida con el software Climate Consultant, en base a los datos obtenidos del archivo EPW.

Por otra parte, en el segundo periodo (18h00 a 06h00), sólo 8 horas están en la zona de confort, lo que representa un 0.2% del total (4380 horas),

Fig. 9. De acuerdo a este método de análisis, se recomienda que 1402 horas deben tener ganancias solares pasivas a través de masa térmica, lo que representa un 30% del total de horas.

Dado que el uso de la casa Manabí, tiene como propuesta utilizarse de 09h00 a 19h00 las estrategias se centrarán sólo en el periodo diurno, como se mencionó previamente, priorizando las acciones pasivas.

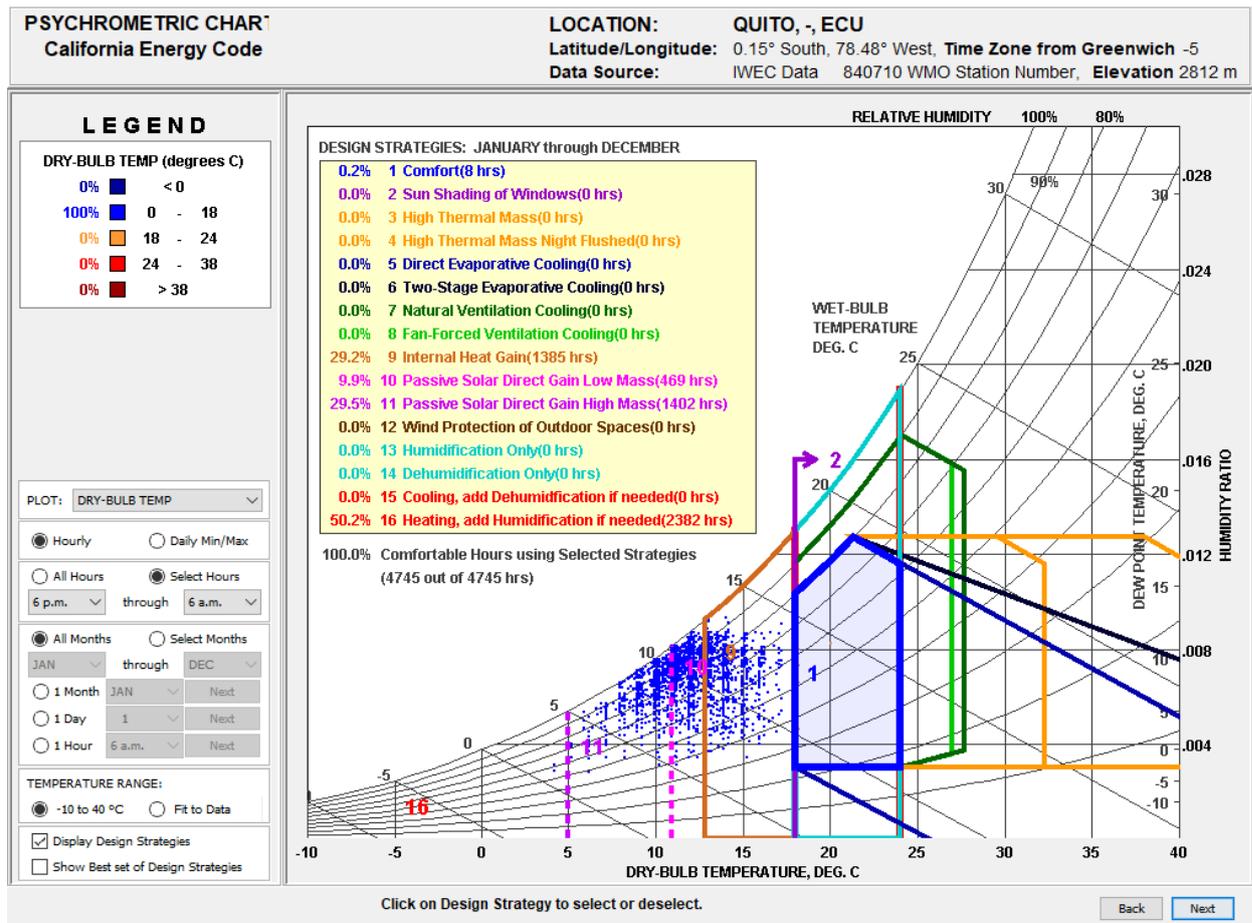


Fig. 9 Evaluación de Confort de las temperaturas del aire en el terreno de Quito en el periodo de 18h00 a 06h00 de todos los días del año, de acuerdo al ábaco Psicrométrico de Glvoni. Imagen obtenida con el software Climate Consultant, en base a los datos obtenidos del archivo EPW.

Por otra parte, se ha determinado el rango de confort de acuerdo al **ASHRAE Standard 55** (ASHRAE, 2001), la cual considera los valores de temperatura, humedad, velocidad del viento, vestimenta (1.0 cloth) y actividad (1.5 Met). Esta metodología ha sido utilizada por el **Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables** en su informe "Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y consumo de energía en viviendas" (INER, 2017), donde establece que la zona de confort en el clima de Quito está entre un rango de **21 a 24°C**, ver

Fig. 10.

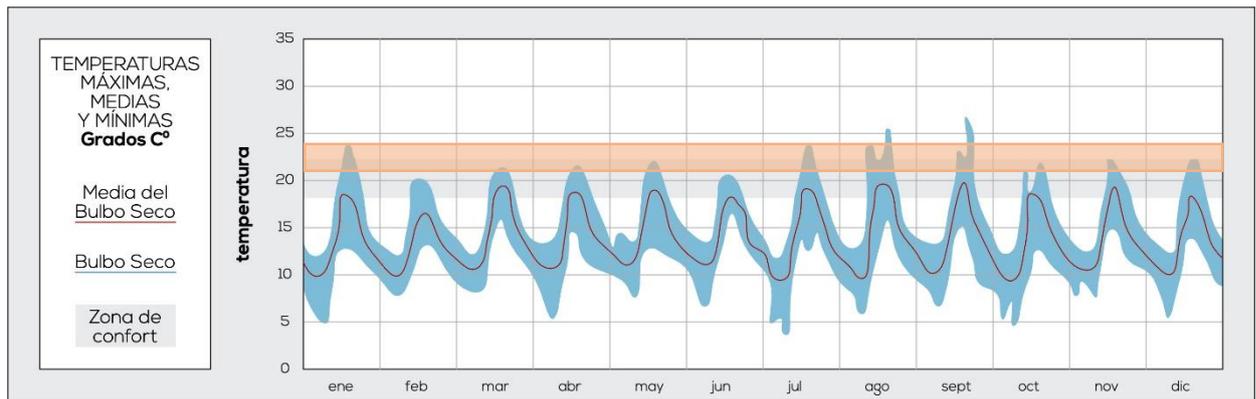


Fig. 10 Temperaturas máxima, media y mínima del aire en la Ciudad de Quito, y la zona de confort de acuerdo a CALIFORNIA ENERGY CODE. Imagen obtenida con el software Climate Consultant, en base a los datos obtenidos del archivo EPW de Energy Plus.

De acuerdo con esta gráfica,

Fig. 10, y los dos métodos utilizados, la temperatura de confort para el análisis siguiente se ha establecido entre un rango de 21°C a 24°C, con ciertos rangos de permisibilidad en función de la humedad y el confort adaptativo del usuario.

2.2 ANÁLISIS ESTADO ACTUAL

2.2.1 CONFIGURACIÓN SIMULACIONES

Las simulaciones térmicas realizadas en este informe han sido realizadas con el motor de cálculo Energy Plus a través del programa Design Builder. El archivo climático utilizado ha sido el EPW_quito, el cual se adjunta en los anexos de este informe. Como se ha visto en el análisis del clima la influencia de la radiación solar será esencial en el comportamiento térmico de la casa Manabí. Para la simulación se escogido un espacio orientado a sureste, y otro espacio en el interior del edificio, para cada uno de los niveles, Fig. 11. Los mismos que se simularán tanto en el estado actual como en la propuesta.

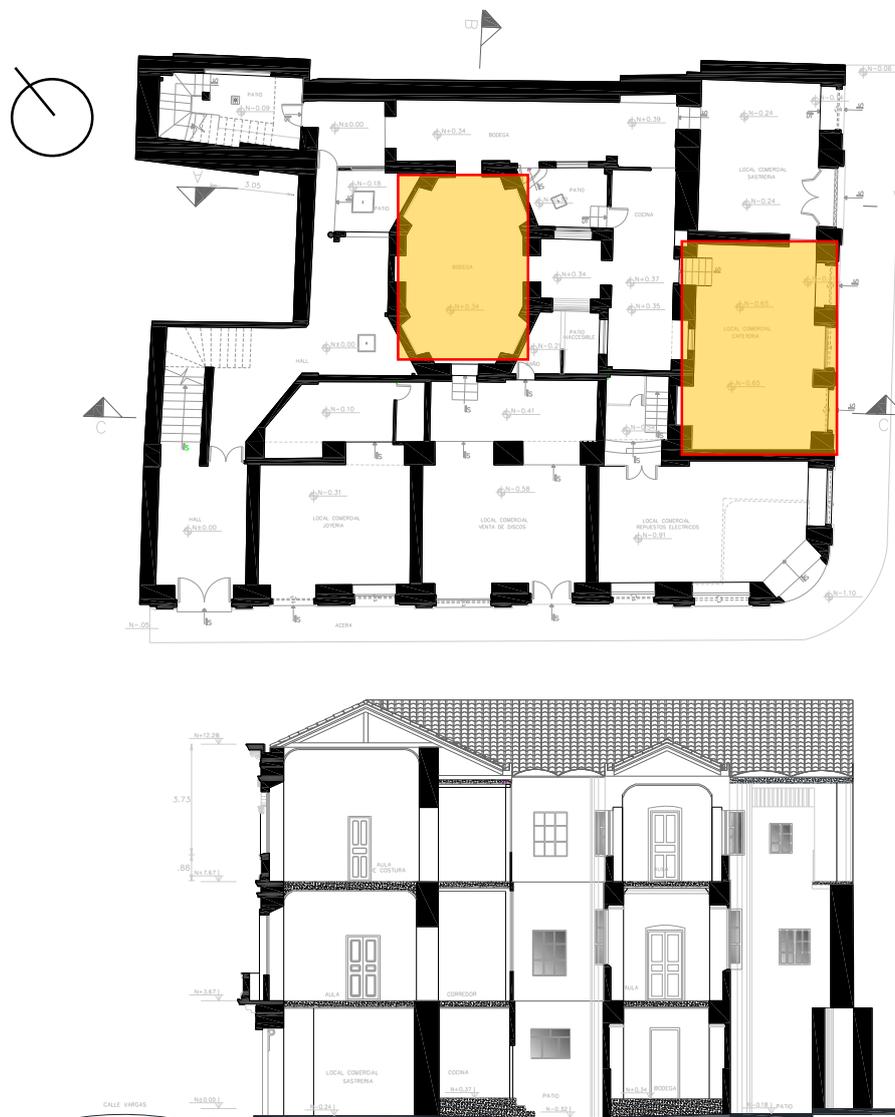


Fig. 11 Ubicación de los espacios a simularse.

De acuerdo a lo dicho previamente, el día tipo a simularse será un día con la temperatura promedio del año, este día corresponde a un día con la temperatura media anual de Quito (14.7°C). Este día se simulará en equinoccio, el 21 de septiembre.

La Tabla 1 muestra un resumen de las simulaciones a realizarse en el estado actual, y posteriormente con las estrategias propuestas.

Tabla 1 Resumen de simulaciones planteadas para la Casa Manabí

Departamento		Día Promedio (14.7°C)
Nivel	Orientación	Equinoccio
PB	Sureste	x
	interior	x
1 PA	Sureste	x
	interior	x
2 PA	Sureste	x
	interior	x

A continuación, se muestran las características de simulación de cada uno de los espacios evaluados en los diferentes niveles, Tabla 2. Las configuraciones del estado actual corresponden a una vivienda unifamiliar. En cuanto a equipos e iluminación se han utilizado estándares especificados por el software Design Builder, y las renovaciones horarias se han configurado de acuerdo (Torres, 2018) donde muestra las infiltraciones medias de acuerdo al sistema de ventanas de las viviendas en Ecuador.

Tabla 2 Características de simulación de la casa Manabí Estado actual

Espacios	Ocupación	Infiltraciones	T. del suelo	Equipos	Iluminación
Espacio Este	0.04 pers/m ² (18h00 a 06h00)	2 ac/h constante	14.4°C	4W/ m ² (18h00 a 22h00)	2 W/ m ² -100lux (18h00 a 23h00)
Espacio interior	0.04 pers/m ² (18h00 a 06:00)	2 ac/h constante	14.4°C	4W/ m ² (18h00 a 22h00)	2 W/ m ² -100lux (18h00 a 23h00)

Después de configurar todos los materiales planteados para los pisos, paredes, y ventanas, se ha simulado el comportamiento térmico de cada uno de los espacios de cada nivel.

Las características térmicas de los materiales utilizados en la CASA MANABÍ de acuerdo al diseño actual planteado se muestran a continuación, Tabla 3.

Tabla 3 Características térmicas de los materiales utilizados para la envolvente de la casa Manabí

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE				
Elemento	Ubicación	FACTOR U (W/m ² .K)	REFLECTANCIA SOLAR	EMISIVIDAD
Paredes exteriores.	Todas	0.90	0.50	0.90
C1_sócalo de Piedra e=3cm (out) C2_Pared de ladrillo e=54 cm C3_ Revoque de tierra e=3cm (in)				
Paredes interiores		0.90		
C1_Revoque de tierra e= 3 cm C2_Pared de ladrillo e=54 cm C3_ Revoque de tierra e= 3 cm				
Piso		2.1		
C1_duelas de madera C2_vigas de madera C3_cámara de aire C4_tierra				
Entre piso		1.5	0.60	0.90
C1_duelas de madera C2_vigas de madera C3_cámara de aire C4_cielo raso de yeso				
Cubierta		2.2	0.35	0.90
C1_teja C2_fibrocemento C3_cámara de aire C4_cielo raso de yeso				
Ventanas		5.8	r=0.15 (transmitancia solar=0.8)	0.90
C1_vidrio simple e=6mm Carpintería de madera				

2.2.2 RESULTADOS TEMPERATURA Y HUMEDAD ESTADO ACTUAL

A continuación, se muestra los resultados de simulación de la CASA MANABÍ en su estado actual. Las simulaciones se han realizado en los 3 niveles del edificio, en un espacio orientado hacia el sureste y un espacio interior.

La Fig. 12 muestra el modelo de simulación del edificio con el contexto urbano inmediato, donde se puede apreciar las posibles obstrucciones solares que tendría la casa Manabí, tanto en lado sureste y suroeste.

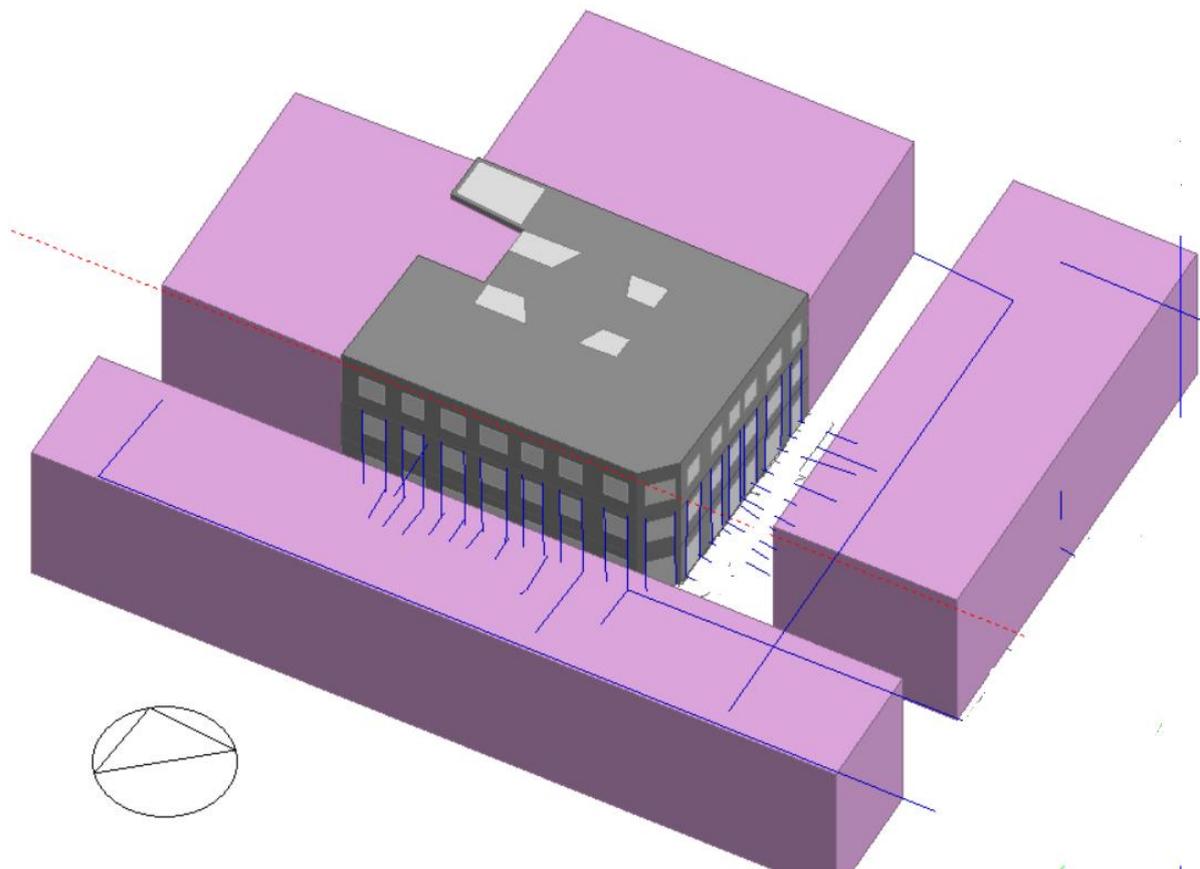


Fig. 12 Modelo de simulación de la casa Manabí.

TEMPERATURA

A continuación, se muestran los resultados de temperatura del espacio orientado hacia sureste, y el espacio interior, en los 3 niveles de la casa, Fig. 13

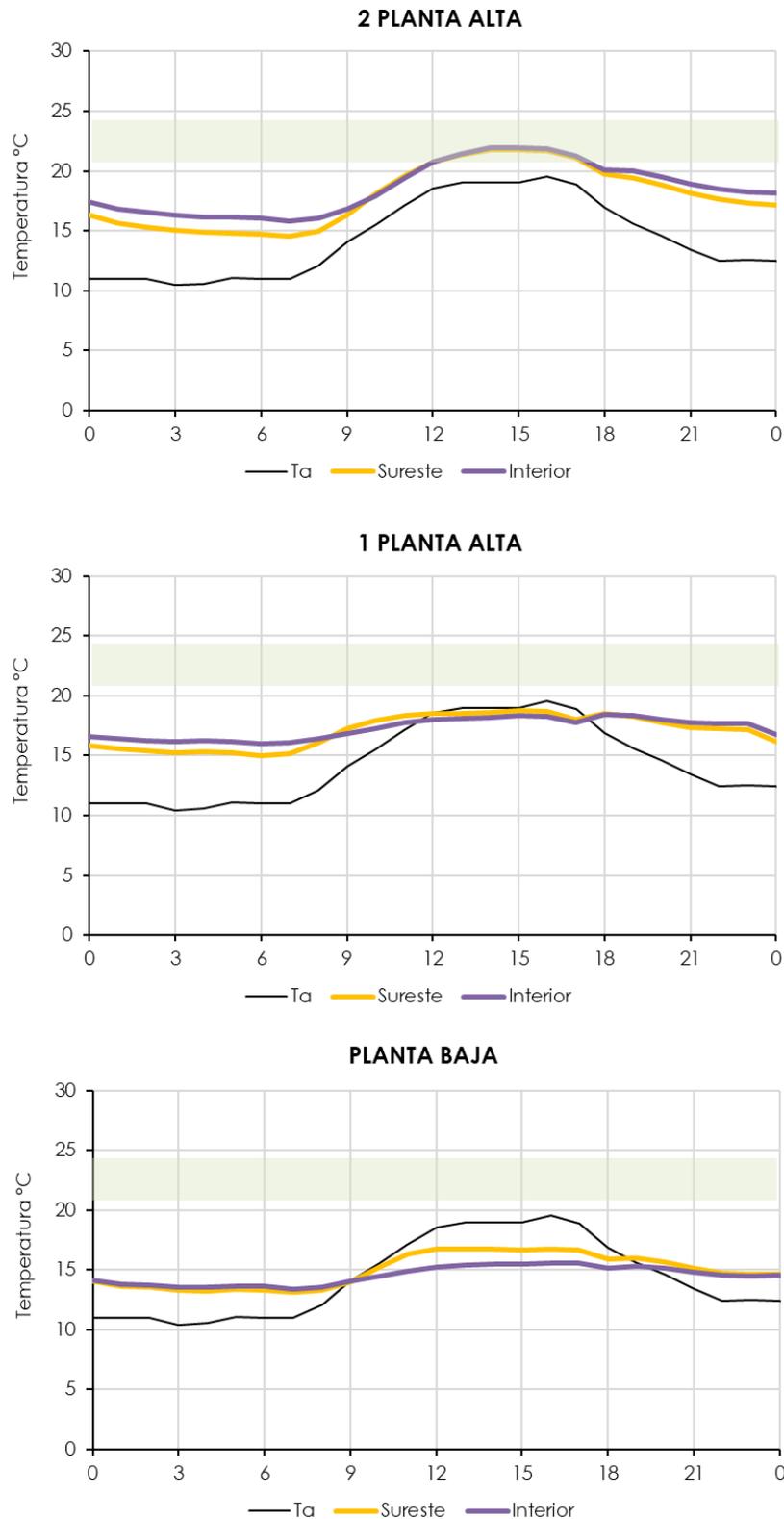


Fig. 13 Temperatura interior de los espacios orientado al sureste e interior de la casa Manabí, en planta baja, primera planta alta y segunda planta alta.

De acuerdo con estos resultados, **en planta baja**, tanto el espacio sureste y el interior, no alcanzan el rango de confort. En este sentido, el espacio sureste en el periodo de 09h00 a 19h00 alcanza una temperatura de 16.8°C y una mínima en este periodo de 14°C, la cual sucede a las 09h00, cuando iniciaría el periodo de ocupación de la casa en la propuesta. En cambio, el espacio interior tiene una misma temperatura mínima, pero sólo alcanza una temperatura máxima de 15.4°C. Esto se debe a que el espacio sureste si recibe radiación solar, aunque muy obstruida por su contexto, mientras que el espacio interior apenas se calienta por el calor que reciben los espacios contiguos, los cuales tienen una iluminación cenital.

En la **primera planta alta**, la temperatura de los dos espacios se incrementa, el espacio sureste alcanza 18.3°C, mientras que el espacio interior 17.5°C, alrededor de las horas del mediodía. Nuevamente, de acuerdo con estos resultados en estos espacios en el estado actual no se alcanza la temperatura de confort.

Por último, en la **segunda planta alta**, los dos espacios alcanzan una temperatura alrededor de los 22.5°C, lo cual indicaría que alcanzan el rango de confort, desde las 12h00 hasta las 18h30. En el periodo de la mañana los dos espacios nuevamente estarían fuera del rango de confort.

HUMEDAD

Una de las problemáticas encontradas en el estado actual de la casa Manabí, de acuerdo a la inspección realizada por el consultor, ha sido la alta humedad que se registra en los espacios interiores, lo cual causa desperfectos en ciertos elementos.

A continuación, se muestran los resultados de humedad del estado actual de los espacios analizados de la casa Manabí, espacio interior y espacio sureste, Fig. 14.

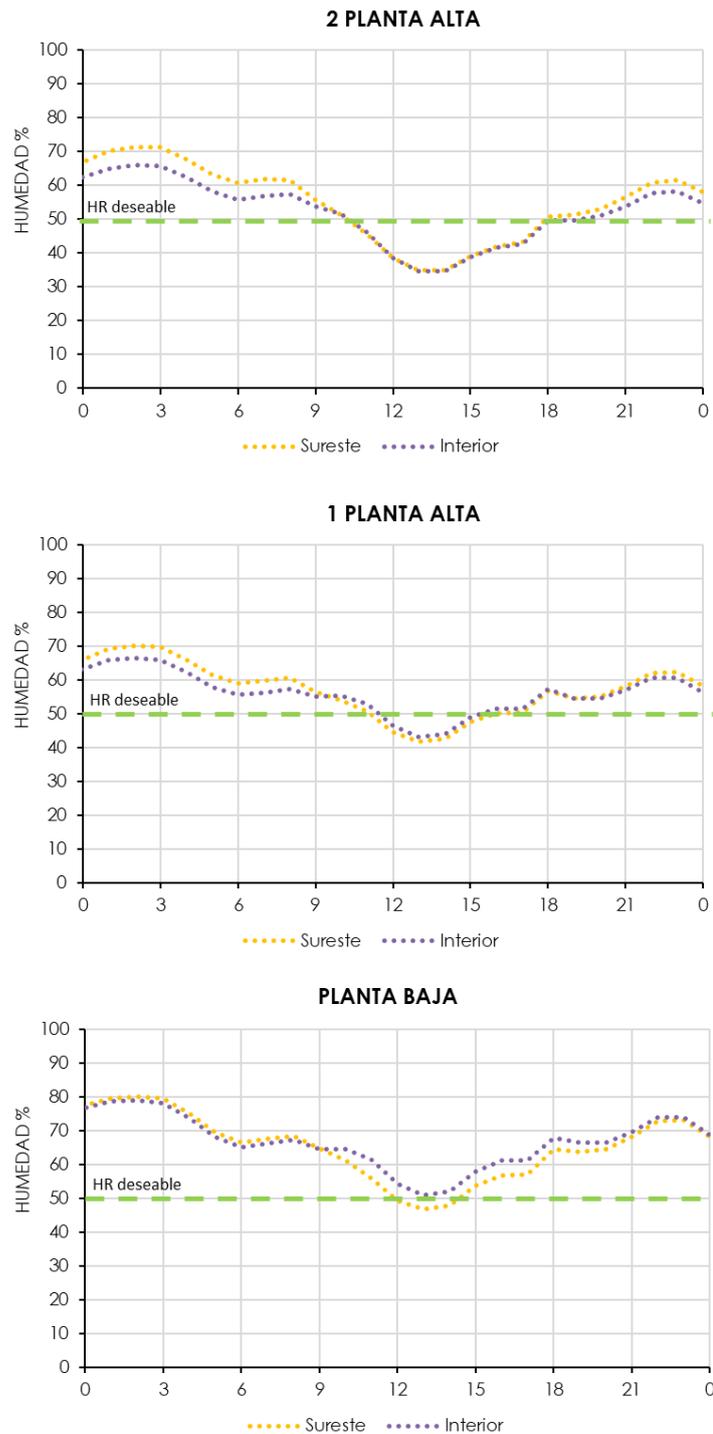


Fig. 14 Humedad interior de los espacios orientado al sureste e interior de la casa Manabí, en planta baja, primera planta alta y segunda planta alta.

De acuerdo a los resultados mostrados, la humedad es bastante similar en los dos espacios, la cual oscila entre los 50 y 80 % en la planta baja, 40 y 70% en la planta alta y segunda planta alta. Como se indica en las gráficas, una humedad relativa deseable aproximadamente bordea el 50%, no obstante, sólo en horas del mediodía se alcanza esta humedad el resto del día la humedad está sobre el 50%. Conforme a esto, la mayor humedad se presenta en horarios nocturnos, dado que este parámetro, la humedad, es inverso a la temperatura. Estos valores confirman que la casa Manabí, presenta valores de humedad altos, especialmente en la noche, por la misma humedad del ambiente, pero además por la condensación que puede haber por paredes y ventanas, aun cuando existe infiltraciones que han sido configuradas a 2 ren/h. Esto indica que deben tomarse medidas para reducir estos valores, probablemente incrementar la ventilación natural.

2.3 ANÁLISIS PROPUESTA

2.3.1 CONFIGURACIÓN SIMULACIONES

En base a los resultados anteriores se ha planteado estrategias para disminuir el desconfort térmico que se observó en el estado actual.

Estas estrategias se basan en abrir el espacio interior de la vivienda, en el espacio octogonal, a través de una iluminación cenital en los 3 pisos, con lo cual se puede alcanzar una mayor temperatura desde la planta baja la cual era la más afectada, Fig. 15.

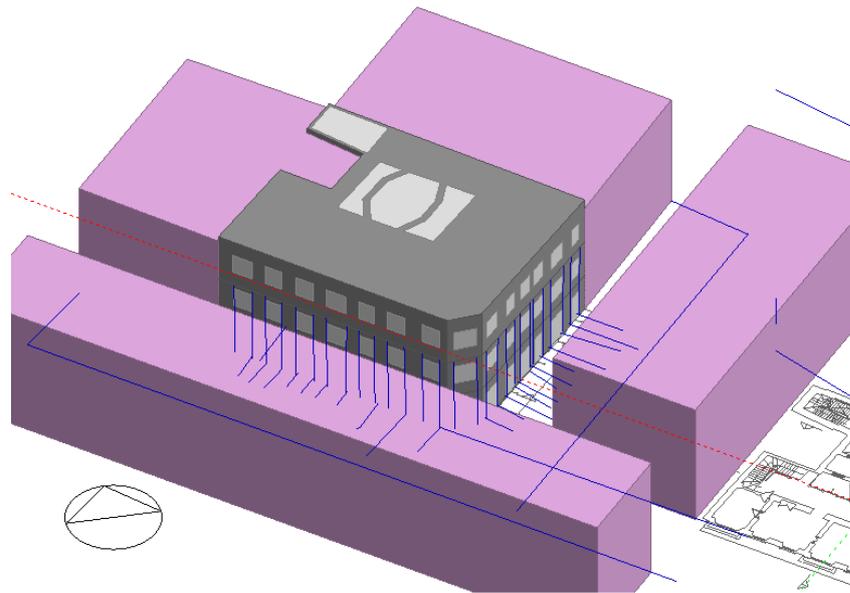


Fig. 15 Modelo de simulación propuesta casa Manabí

Las características de simulación se adecuaron al nuevo uso que se plantea, que será un equipamiento multiuso de exposición y salones de lectura, con un aforo mayor a una vivienda, Tabla 4.

Tabla 4 Características de simulación de la casa Manabí propuesta

Espacios	Ocupación	Infiltraciones	T. del suelo	Equipos	Iluminación
Espacio Este	0.50 pers/m ² (09h00 a 19h00)	2 ac/h constante	14.4°C	4W/ m ² (18h00 a 22h00)	2 W/ m ² -100lux (18h00 a 19h00)
Espacio interior	0.50 pers/m ² (09h00 a 19:00)	6 ac/h constante	14.4°C	4W/ m ² (18h00 a 22h00)	2 W/ m ² -100lux (18h00 a 19h00)

Dado que la intervención propuesta es una rehabilitación, el cambio de materiales ha sido mínimo, por lo cual se mantiene la mayoría de los sistemas constructivos del estado actual. El cambio más representativo es el uso del policarbonato en la cubierta, donde se especifica una transmisión solar de 0.60 y una reflectancia solar de 0.20 aproximadamente.

Tabla 5 Características térmicas de los materiales utilizados para la envolvente de la casa Manabí

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE				
Elemento	Ubicación	FACTOR U (W/m ² .K)	REFLECTANCIA SOLAR	EMISIVIDAD
Paredes exteriores.	Todas	0.90	0.50	0.90
C1_sòcalo de Piedra e=3cm C2_Pared de ladrillo e=54 cm C3_ Revoque de tierra e=3cm				
Paredes interiores		0.90		
C1_Revoque de tierra e= 3 cm C2_Pared de ladrillo e=54 cm C3_ Revoque de tierra e= 3 cm				
Piso		2.1		
C1_duelas de madera C2_vigas de madera C3_cámara de aire C4_tierra				
Entre piso		1.5	0.60	0.90
C1_duelas de madera C2_vigas de madera C3_cámara de aire C4_cielo raso de yeso				
Cubierta		2.2	0.35	0.90
C1_teja C2_fibro cemento C3_cámara de aire C4_cielo raso de yeso				
Ventanas planta baja		2.4	r=0.15 (transmitancia solar=0.8)	0.90
C1_vidrio doble e=6, 10, 6 mm Carpintería de pvc o aluminio con rotura de puente térmico				
Ventanas planta alta		5.8	r=0.15 (transmitancia solar=0.8)	0.90
C1_vidrio simple e=6mm Carpintería de madera				
Ventanas cubierta		3.0	r=0.20 (transmitancia solar=0.6)	0.90
C1_policarbonato blanco e=10mm Carpintería de aluminio o metal				

2.3.2 RESULTADOS PROPUESTA

TEMPERATURA

Una vez configurado todas las estrategias planteadas para la casa Manabí, la muestra los resultados de la temperatura interior de los espacios analizados previamente, en los 3 niveles que comprende la edificación, Fig. 16.

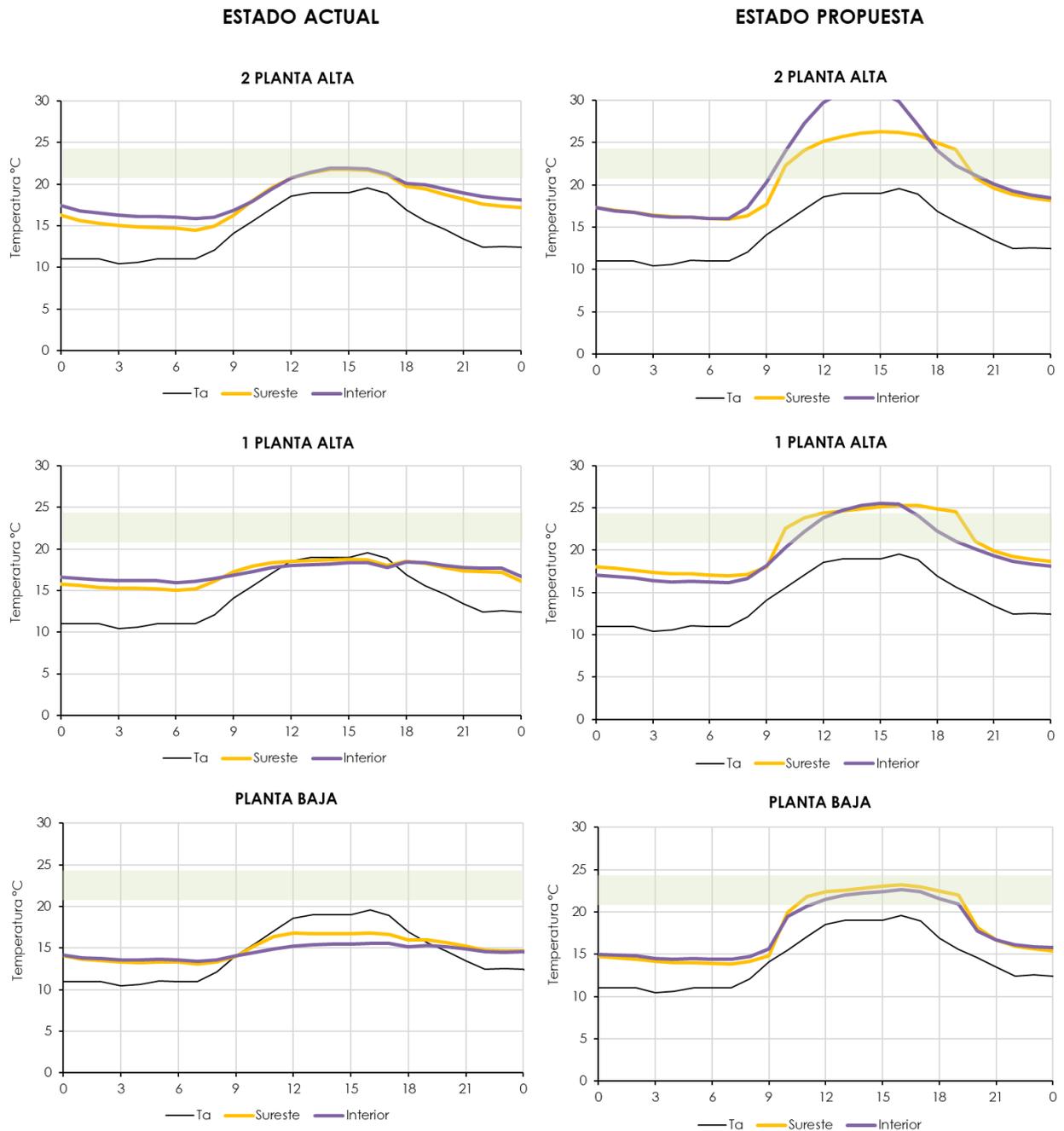


Fig. 16 Temperatura interior de los espacios orientado al sureste e interior de la casa Manabí, en planta baja, primera planta alta y segunda planta alta, en su estado actual (izquierda) y en la propuesta planteada (derecha)

De acuerdo con estos resultados, en **planta baja** se muestra que las estrategias planteadas tienen un resultado positivo, dado que incrementan la temperatura de los

dos espacios analizados, el ubicado hacia el sureste y especialmente el espacio interior. Con esta estrategia los dos espacios alcanzan el rango de confort a partir de las 10h00 hasta las 20h30, alcanzando una máxima temperatura de 23°C, es decir la mayor parte del periodo en que se encuentra en funcionamiento el equipamiento mantiene una temperatura de confort.

En **planta alta**, al igual que en la planta baja la temperatura interior se incrementó en los dos espacios de análisis, pasando de una máxima temperatura de 16°C hasta 25°C. Aunque estos espacios sobre pasan el nivel superior del rango de confort se encuentra dentro de los rangos permisibles. Los dos espacios analizados alcanzan el confort a partir de las 10h00 hasta las 20h30. Este incremento de temperatura se debe a las ganancias solares por la cubierta, dada la iluminación cenital planteada en la propuesta, no obstante, este incremento también se debe a la ocupación y al uso de iluminación artificial en el día. Debido a estas estrategias y al nuevo uso planteado, la segunda planta alcanza niveles de confort térmico en la mayor parte del periodo de uso.

Por último, en la **segunda planta alta**, nuevamente se muestra un gran incremento en la temperatura de los dos espacios. Debido al mayor ingreso de radiación solar tanto en el espacio sureste y en el interior, la temperatura de estos espacios sobrepasa los rangos de confort marcadamente, especialmente el espacio interior por recibir directamente la radiación solar cenitalmente. Debido a estos resultados se ha propuesto al consultor arquitectónico que tiene que tener una renovación horaria mayor en el espacio interior. Aunque se pudiera reducir la superficie captadora esto reduciría los aportes de calor en los niveles inferiores, por lo cual se sugiere que se implemente un espacio de renovación horaria en la cubierta de aproximadamente 20 cm de alto alrededor de todas las superficies de iluminación cenital, esto para lograr una ventilación natural a través del principio del efecto Venturi y la diferencia de presiones, es decir por la extracción de aire por convección natural. De acuerdo a esta estrategia, los nuevos resultados en la 2 planta alta se muestran en la Fig. 17

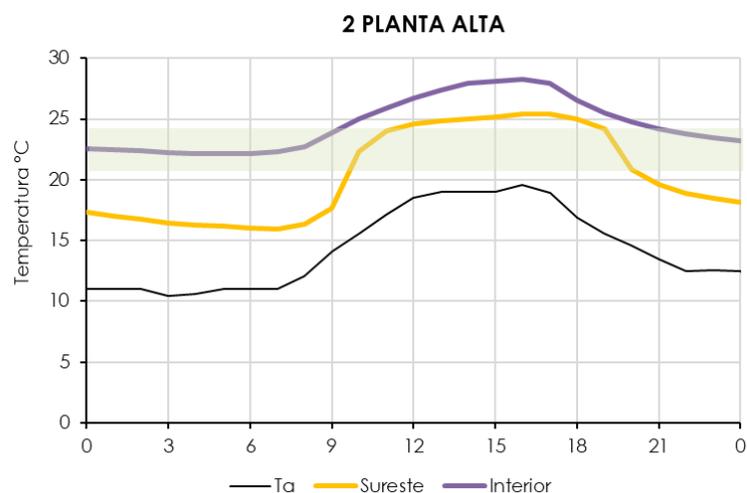


Fig. 17 Temperatura interior de los espacios orientado al sureste e interior de la casa Manabí, en la segunda planta alta, en la propuesta planteada.

Los resultados mostrados, evidencian que, aunque se incrementó la ventilación natural en el espacio interior la temperatura en la segunda planta alta debajo del lucernario sobrepasa los estándares de confort térmico, por lo cual se recomienda que sea un espacio de transición. El incremento de la superficie de ventilación sería innecesario, dado que no muestra ninguna reducción importante, debido a la alta captación solar en este espacio. En este sentido, otra opción es reducir el espacio de captación solar en la cubierta, no más de un 20%, para no afectar en gran medida la iluminación y los aportes de calor ganados por este lucernario.

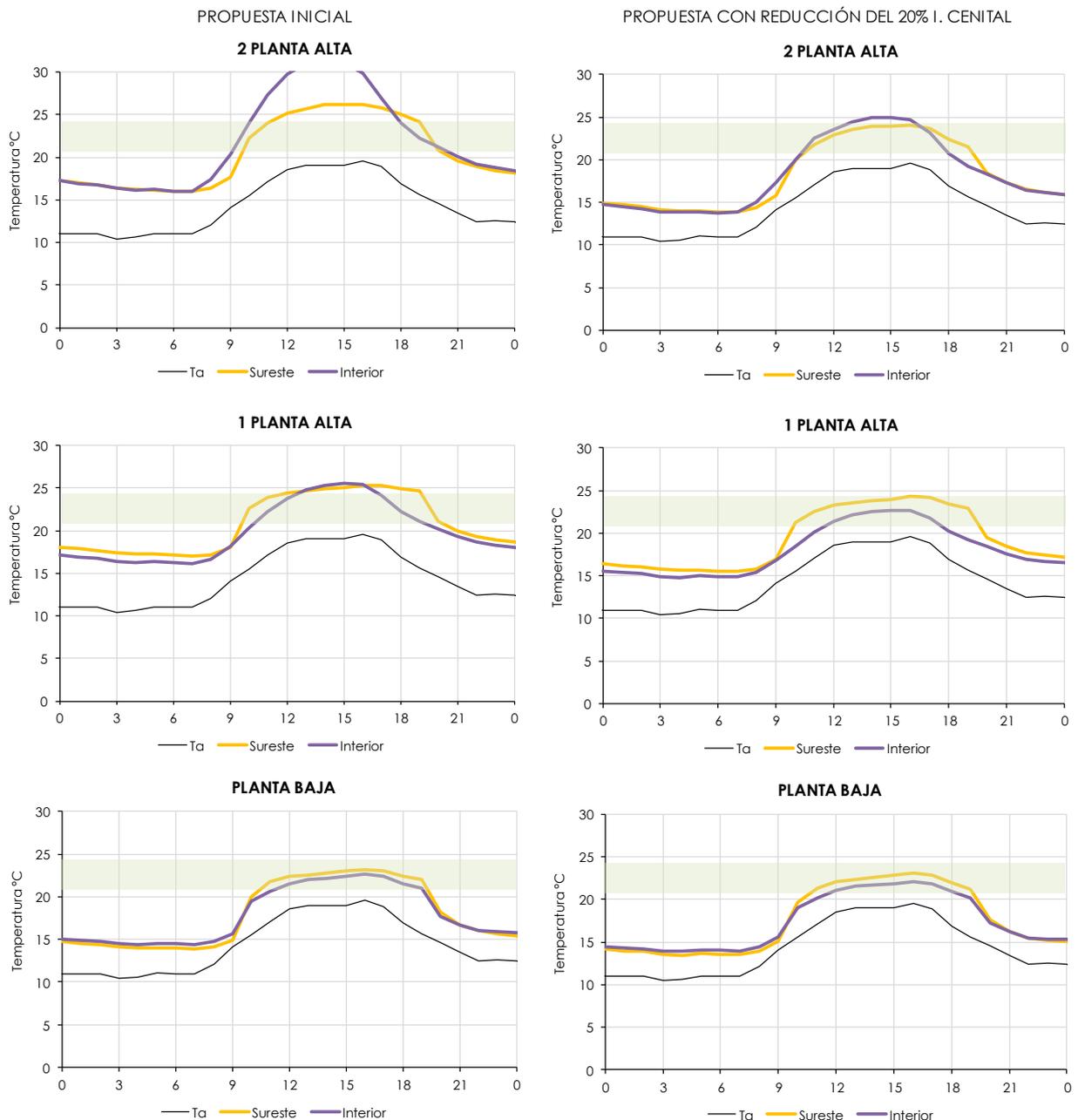


Fig. 18 Temperatura interior de los espacios orientado al sureste e interior de la casa Manabí, en planta baja, primera planta alta y segunda planta alta, en su PROPUESTA INICIAL (izquierda) y en la propuesta REDUCCIÓN 20% I.CENITAL (derecha)

De acuerdo con estos resultados, Fig. 18, debido a la reducción del 20% de la iluminación cenital y con el incremento de las renovaciones horarias implementadas en una estrategia anterior, la temperatura interior de los dos espacios, pero sobre todo la del espacio interior, se reduce considerablemente en comparación con la propuesta inicial, alcanzando una máxima de 25°C. Además, estos resultados muestran que esta estrategia no tiene un gran impacto en la temperatura de los espacios de la planta baja ni de la primera planta alta, estos espacios muestran una reducción mínima, por la reducción de captación solar que significa esta estrategia, no obstante, aún se mantienen dentro de los rangos de confort.

Las repercusiones que puede tener esta estrategia en los niveles de iluminación se muestran en los apartados posteriores de iluminación.

ESTRATEGIAS ADICIONALES

De acuerdo con los resultados mostrados, y las otras opciones analizadas, se recomienda que este espacio quede con estas características, una lámina de policarbonato con una transmitancia solar de 0.6 y una reflectancia de 0.20. Así mismo, se recomienda que en la estructura de la iluminación cenital se construya un espacio libre de 20 cm de altura a lo largo del perímetro de esta superficie captadora.

HUMEDAD

De acuerdo a los resultados mostrados en el apartado anterior, del estado actual, se ha podido apreciar que la casa Manabí presenta valores de humedad alto. Ante esto se ha recurrido a incrementar la ventilación natural del espacio interior, los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 19.

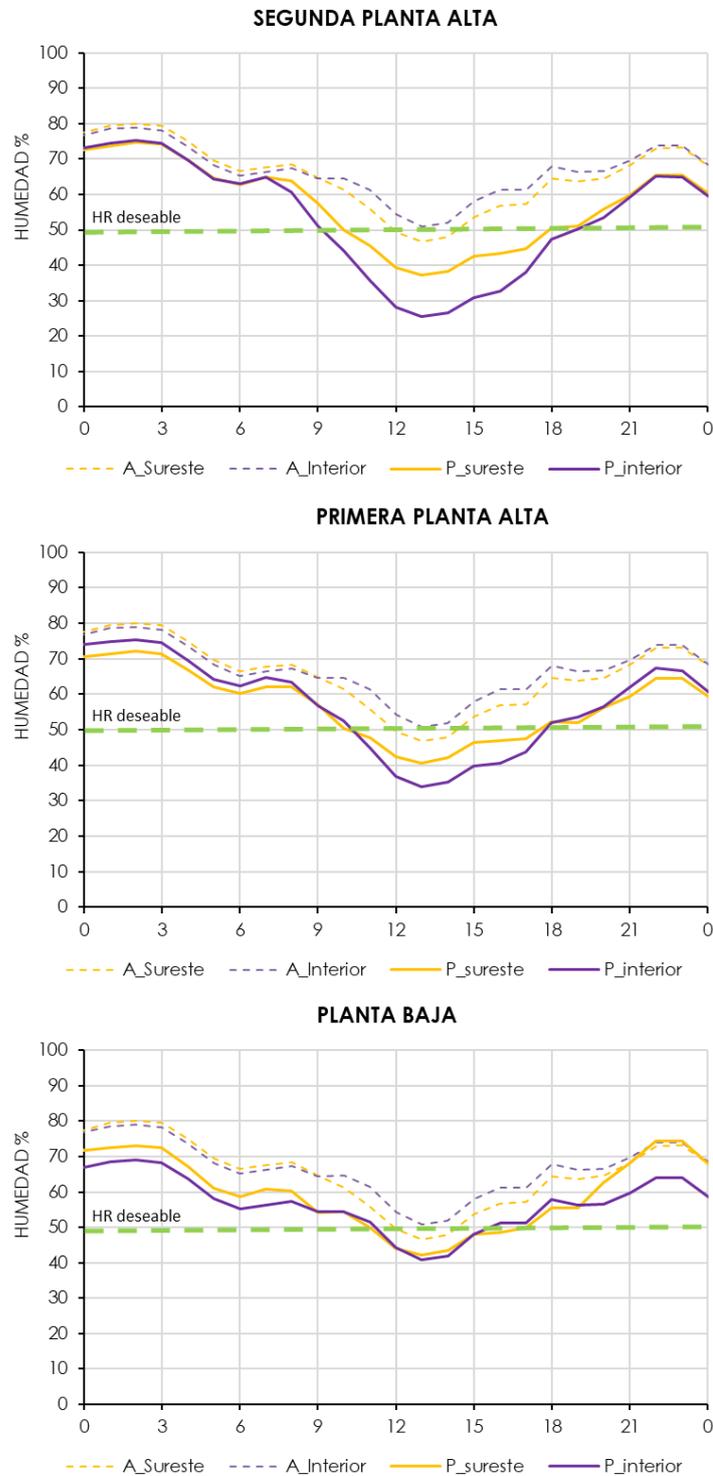


Fig. 19 Humedad interior de los espacios orientados al sureste e interior de la casa Manabí, en la planta baja, primera y segunda planta alta, en el estado actual (línea entre cortada) y la propuesta planteada (línea continua).

Como se dijo previamente, a través de un espacio en el perímetro de la claraboya de la cubierta, con lo cual se logra una 7 ren/hora. Mientras que, en el espacio interior, se ha propuesto que se deje ventilación natural a través de ventoleras en la parte alta de cada ventana con lo cual se logra 4 ren/hora. En este último espacio no se ha optado por mayores renovaciones debido al desconfort que pueda generar por temperaturas y por el movimiento del aire.

Además, en PB no se ha propuesto ventilación natural nada más que por el espacio interior, dado que la mayoría de los espacios colindantes con el exterior tienen conexión con este núcleo central. Esto debido a que, colocar aperturas en planta baja incrementaría los problemas de ruido por su cercanía con las calles.

De acuerdo con los resultados mostrados, después de las estrategias planteadas, la humedad relativa se reduce en todos los espacios analizados.

En planta baja, aun sin tener ventilación directa con el exterior, la humedad relativa se reduce un promedio de 10% con respecto al estado actual. Más aun, esta reducción es mucho más considerable en el periodo diurno, donde la humedad se reduce hasta 40% en el espacio sureste.

En planta alta y segunda planta alta, nuevamente los dos espacios presentan una reducción importante de la humedad, incluso, esta vez la reducción en el periodo diurno llega a ser del 20%, alcanzando una humedad de hasta el 30% en el espacio interior de segunda planta alta. Con estos resultados se prevé que, además de alcanzar el confort en el espacio interior de la casa Manabí, se puedan reducir los problemas de humedecimiento de las estructuras y mamposterías interiores.

3. ANÁLISIS LUMÍNICO

3.1 CONFIGURACIÓN SIMULACIONES

Las simulaciones se han realizado con el uso del motor de cálculo Radiance, y el software Design Builder para el modelado. Las simulaciones se realizaron para un día promedio cubierto (overcast) con una iluminancia del cielo de 10.000 luxes.

Los resultados de las simulaciones se abordarán para la totalidad de cada uno de los pisos, para analizar la distribución lumínica de todos los espacios por cada uno de los niveles. Esto se ha hecho tanto en las simulaciones del estado actual como en la propuesta.

El parámetro de evaluación será los luxes (lúmenes/m²), el plano de evaluación se ha configurado a 80 cm simulando un espacio de trabajo de estudio. De acuerdo NEC11 y Neufert (1995) una cantidad de luxes idónea para los espacios que se irán a implementar como espacios de lectura es de 400 a 600 luxes, mientras que para espacios de transición se establece una iluminación entre 200 y 300 luxes, por debajo de estos valores no se contaría con la iluminación necesaria, lo cual causaría un discomfort lumínico. Así mismo, si se supera los 1000 luxes, la iluminación natural causaría deslumbramiento.

En base a estos parámetros se ha evaluado los espacios de cada uno de los niveles de la casa Manabí, tanto en su estado actual como en la propuesta.

3.2 RESULTADOS ESTADO ACTUAL

PLANTA BAJA

La Fig. 20 muestra los resultados lumínicos de la planta baja de la casa Manabí.

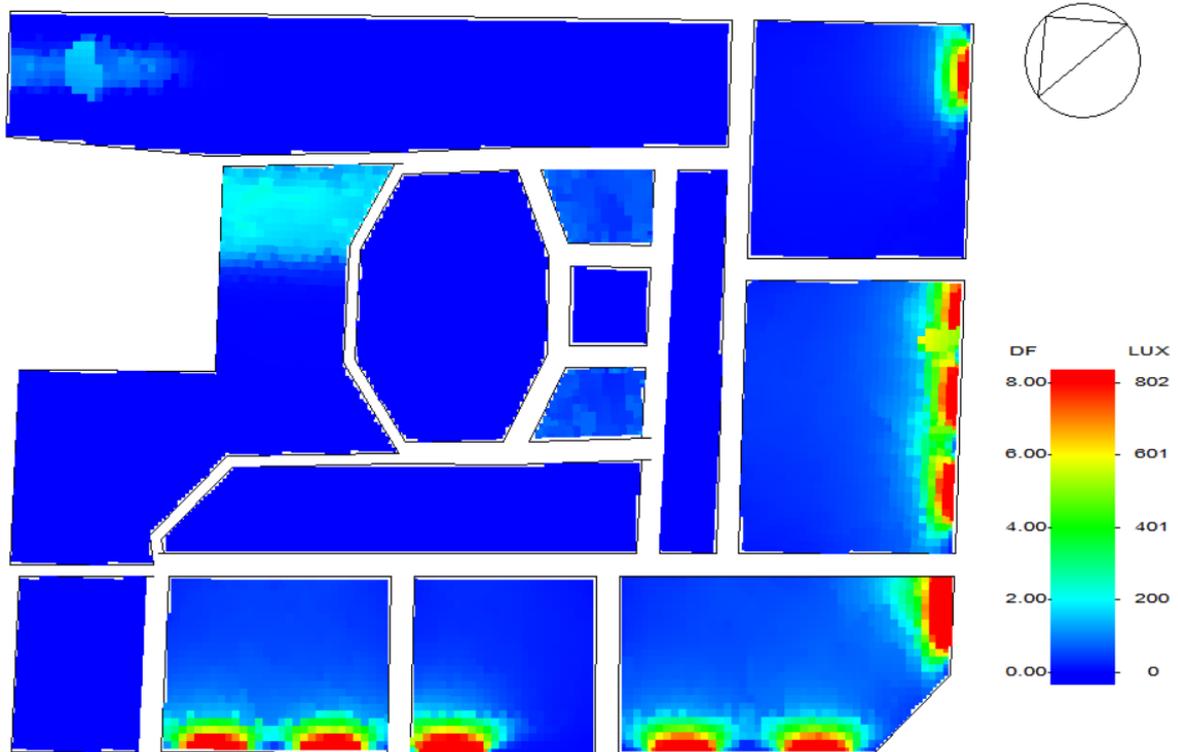


Fig. 20 Resultados lumínicos en planta baja en el estado actual de la casa Manabí.

De acuerdo con estos resultados, se muestra que la mayor parte de la edificación en este nivel tiene niveles de iluminación por debajo de los 50 luxes. Existen ciertos espacios cercanos a los vanos de las fachadas sureste y suroeste que muestran un nivel de iluminación alto, por arriba de los 700 luxes, no obstante, es una iluminación muy puntual. En conclusión, la iluminación en este nivel no cumple con los estándares planteados.

PRIMERA PLANTA ALTA

La Fig. 21 muestra los resultados lumínicos de la primera planta alta.

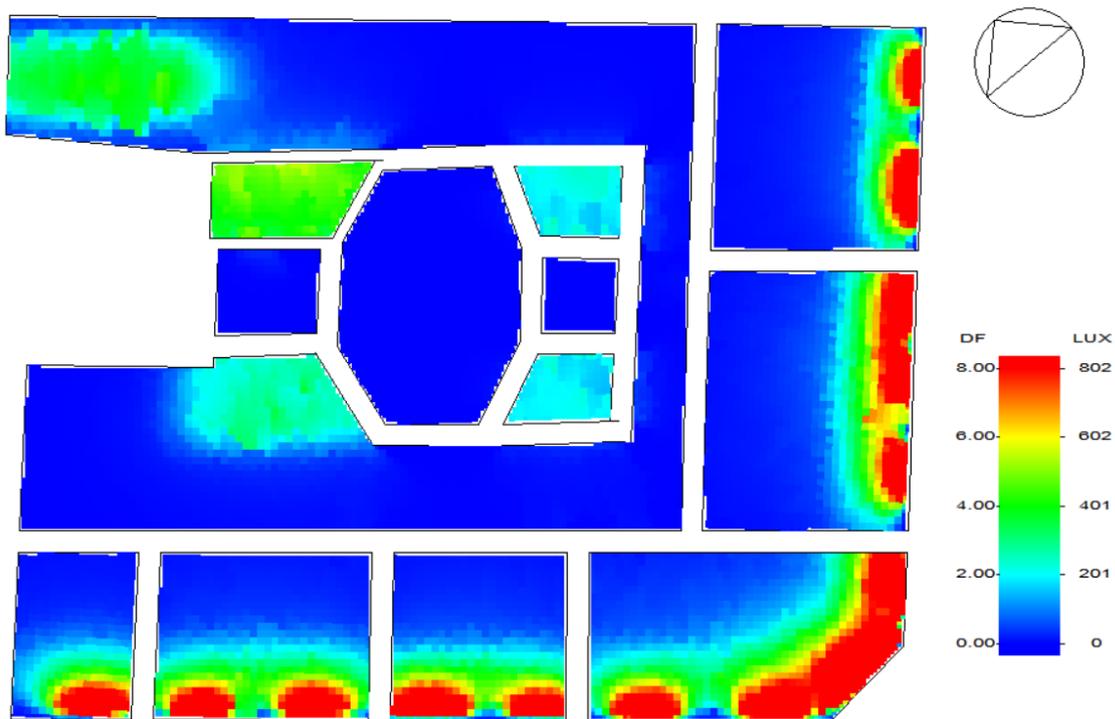


Fig. 21 Resultados lumínicos en primera planta alta en el estado actual de la casa Manabí.

De acuerdo con estos resultados, el nivel de iluminación ya es un poco más alto que el de la planta baja, tanto por la altura de este piso dado que tiene menor obstrucción de su contexto y por la misma configuración del espacio interior, donde ya se abren ciertos espacios a la iluminación cenital del interior. No obstante, en los espacios internos adosados a los lados sureste y suroeste, aun no se cumple con los niveles de iluminación establecidos, donde gran parte de estos espacios tienen menos de 100 luxes, y en los lugares cercanos a las ventanas, ya se puede conseguir un nivel más elevado, aunque se puede llegar a un deslumbramiento. Mientras que en los espacios interiores, a través de la iluminación cenital se ha podido conseguir una iluminación de 300 luxes, no obstante, aún no cumple con los niveles estándares. En cuanto al pasillo que bordea la estructura interior siguen con una iluminación casi nula. En resumen, este nivel de la casa Manabí no cumple con un confort lumínico.

SEGUNDA PLANTA ALTA

La Fig. 22 muestra los resultados del último nivel de la casa Manabí.

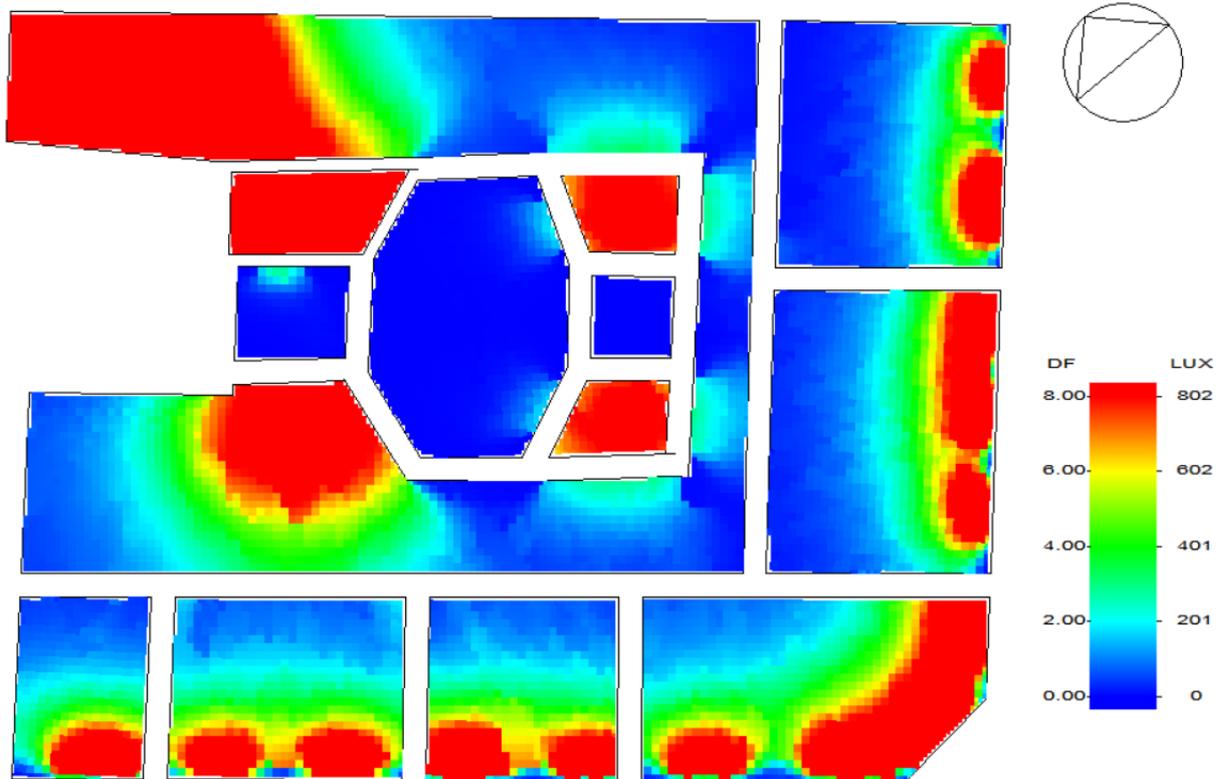


Fig. 22 Resultados lumínicos en segunda planta alta en el estado actual de la casa Manabí.

Conforme a estos resultados, el nivel 3 ya muestra una iluminación mucho mayor que los pisos anteriores. En los espacios ubicados a los lados sureste y suroeste, la iluminación ya bordea los 400 luxes, pero con ciertas focalizaciones. En el espacio interior, al abrir ciertas ventanas de la estructura octogonal interior, ayudan a iluminar los pasillos interiores, creando un nivel de alrededor de los 150 luxes, es decir aun no cumple con niveles de iluminación óptimos ni siquiera para un pasillo.

En definitiva, el estado actual de la casa Manabí, tanto en planta baja. Primera planta alta y segunda planta alta, no cumple con los estándares lumínicos para alcanzar un confort lumínico. Conforme a estos resultados es necesario aplicar estrategias que ayuden a incrementar los niveles de iluminación en el interior y el confort visual.

3.3 RESULTADOS PROPUESTA

PLANTA BAJA

La Fig. 23 muestra los resultados lumínicos de la planta baja de la casa Manabí de acuerdo a la propuesta y su comparación con el estado actual.

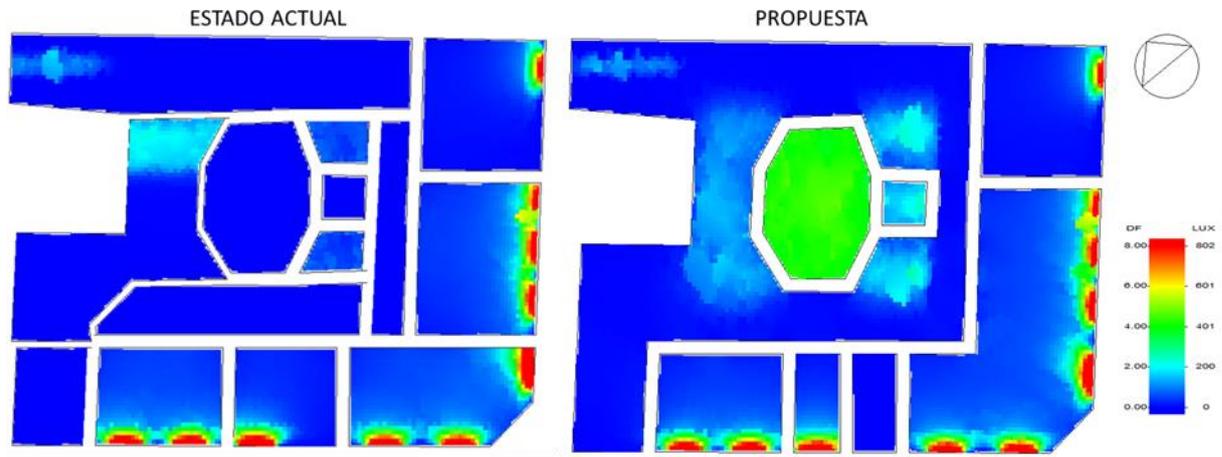


Fig. 23 Resultados lumínicos en planta baja en el estado actual y la propuesta de la casa Manabí.

De acuerdo con estos resultados, la planta baja de acuerdo a la propuesta si muestra un incremento de los niveles lumínicos en comparación con el estado actual. Este cambio se da principalmente en el interior del edificio, dado que ahí se incrementó la luz cenital en la última planta. Este cambio genera que la iluminación de este espacio alcance los 400 luxes, y en el espacio octagonal se alcanza los 800 luxes.

No obstante, el resto de espacios ubicados al lado sureste y suroeste no alcanzan los niveles de confort lumínico. Aunque el diseño contempla la apertura de varios vanos en el corredor, dada la distancia de este piso con la luz cenital, esta estrategia no tiene mayor impacto, sin embargo, si tiene repercusiones en los niveles más altos. Por tanto, se recomienda iluminación artificial que se especifica posteriormente.

PRIMERA PLANTA ALTA

La Fig. 24 muestra los resultados lumínicos de la planta alta de la casa Manabí, de acuerdo a la propuesta y su comparación con el estado actual.

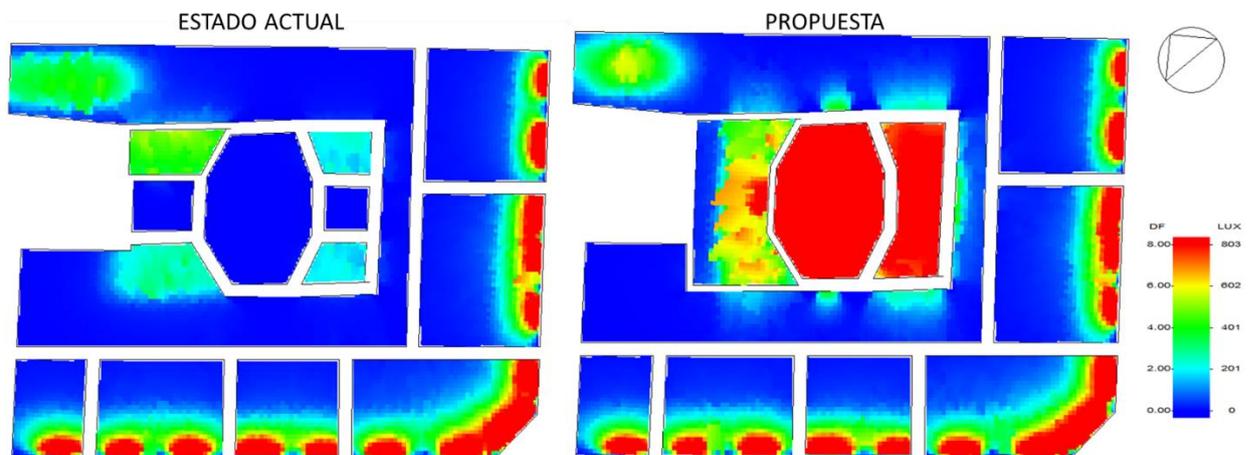


Fig. 24 Resultados lumínicos en planta alta en el estado actual y la propuesta de la casa Manabí.

Los resultados lumínicos de la propuesta en este nivel muestran un incremento de iluminación con respecto al estado actual, principalmente en el interior, en donde se pasa de iluminancias de 200 luxes a más de 600 luxes. La estrategia implementada de abrir el núcleo interior para dar iluminación cenital y vanos en el paramento vertical resultan en una estrategia óptima. Además, a través de estrategia, se puede apreciar que el corredor alrededor del núcleo central también cuenta con iluminación natural alcanzando hasta 200 luxes. Nuevamente, el resto de espacios ubicados al sureste y suroeste no tienen los niveles de iluminación para alcanzar el confort lumínico. Por tanto, se recomienda que se incluya iluminación artificial para estos espacios.

SEGUNDA PLANTA ALTA

La Fig. 25 muestra los resultados lumínicos de la segunda planta alta de la casa Manabí, de acuerdo a la propuesta y su comparación con el estado actual.

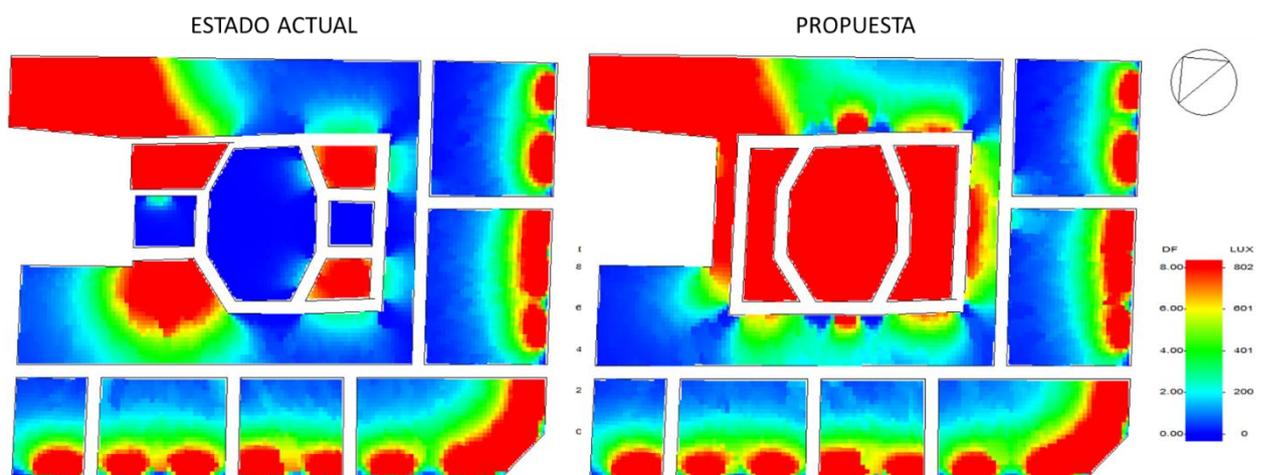


Fig. 25 Resultados lumínicos en la segunda planta alta en el estado actual y la propuesta de la casa Manabí.

Estos resultados muestran que con la implementación de la estrategia de iluminación central y las aberturas de los paramentos verticales de la estructura central se obtiene una iluminación mucho más uniforme en toda esta planta. En cuanto a los espacios ubicados hacia el sureste y suroeste, la iluminación natural casi alcanza para satisfacer el confort lumínico en estos espacios, con la excepción de la zona opuesta a las ventanas, donde sí se recomienda el uso de iluminación artificial, al igual que en los niveles inferiores.

Dado que como estrategia térmica se redujo la captación solar de la iluminación cenital en un 20%, los resultados lumínicos se volvieron a simular para analizar los cambios causados por esta estrategia, los cuales se muestran en la Fig. 26

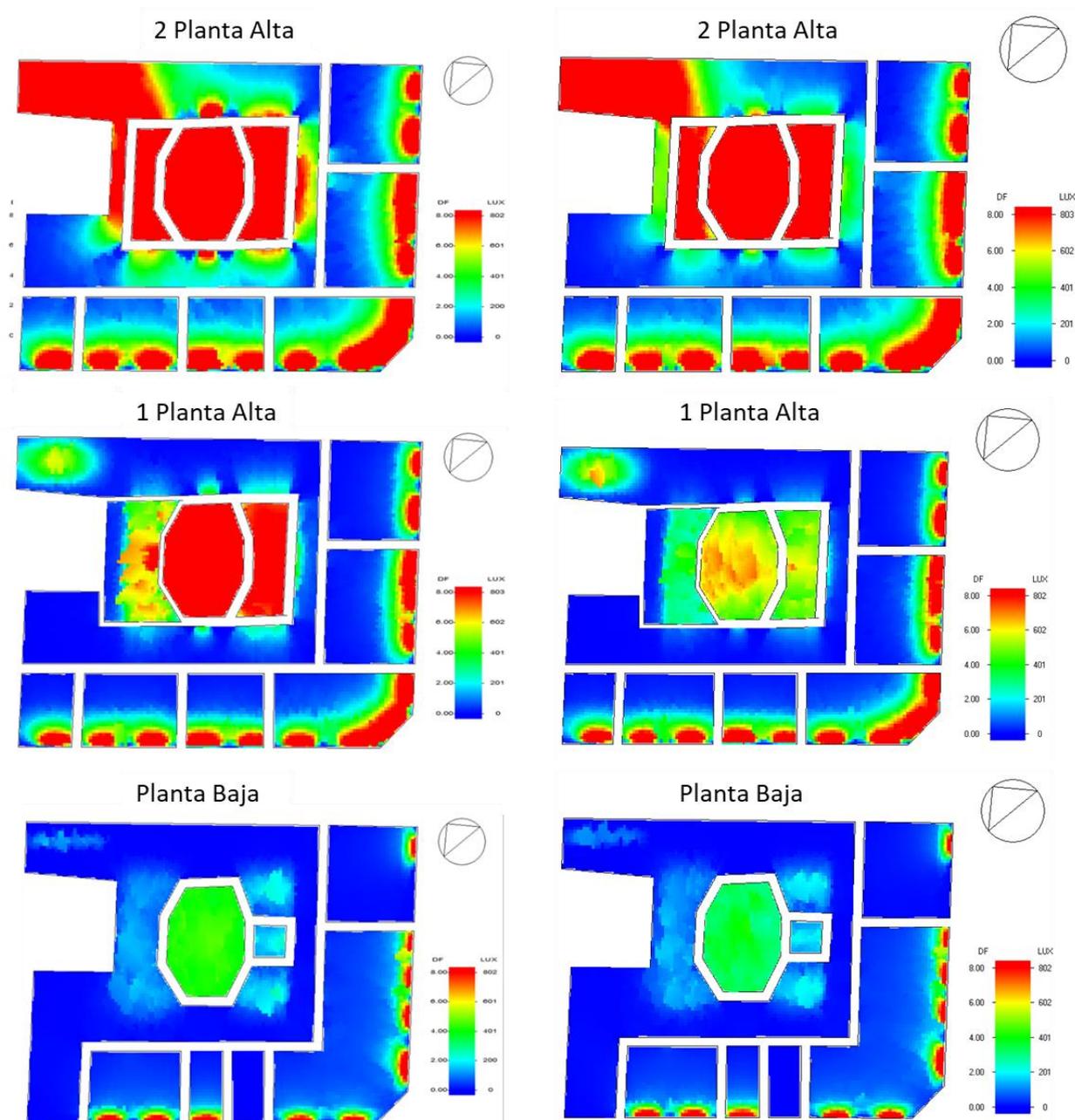
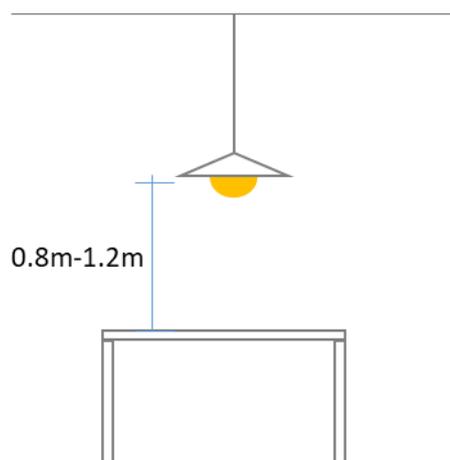


Fig. 26 Resultados lumínicos de las 3 plantas en la propuesta inicial y en la propuesta con la reducción del 20% de i. cenital de la casa Manabí.

De acuerdo con estos resultados, Fig. 26, la reducción del 20% en la iluminación cenital no tiene mayor impacto en las condiciones lumínicas. Los resultados de planta baja se mantienen, mientras que en la primera y segunda planta alta existen pequeñas reducciones de los niveles de iluminación. EL caso más notorio es la primera planta alta, donde el espacio central pasa de niveles de iluminación de 800 luxes a 500 luxes, lo cual indica que este espacio se enmarca dentro de los rangos de confort. En el caso de la segunda planta alta, los niveles del espacio interior se mantienen prácticamente que en la propuesta inicial, dada la cercanía de la cubierta traslúcida.

ESTRATEGIA DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Dado que los espacios de trabajo ubicados hacia el sureste y suroeste no cumplen con los niveles de iluminación con la luz natural, es necesario implementar iluminación artificial. Para esto, lo que se recomienda es el uso de luminarias colgantes con lámparas LED, ubicadas sobre los espacios de trabajo a una distancia entre 0.80 a 1.20 m. A través de esta estrategia, las luminarias pueden tener unas características de 400 lúmenes y 20W de potencia, con lo cual el consumo energético de la edificación se reduce y se alcanza los luxes necesarios en la superficie de trabajo, Fig. 27



$$E = 400/1^2$$

$$E = 400/1$$

$$E = 400 \text{ luxes}$$

$$1 \times 20W = 20W$$

$$E = I/d^2$$

Fig. 27 Detalle de colocación de lámparas sobre espacio de trabajo.

4. ESTRATEGIAS ACÚSTICAS

De acuerdo a las inspecciones de campo y a la información bibliográfica recogida, la casa Manabí se encuentra afectada por un foco de ruido que son las calles Manabí y Vargas. De acuerdo con el mapa de decibelios, Fig. 28, el caso de estudio se encuentra en un rango de sonido de 65-75 decibelios, lo cual está fuera de los rangos permitidos para este tipo de equipamiento, donde se especifica un rango entre 30-40 (Jaramillo, 2007). Por lo cual se deben plantear ciertas estrategias para mitigar en cierta medida este discomfort acústico.

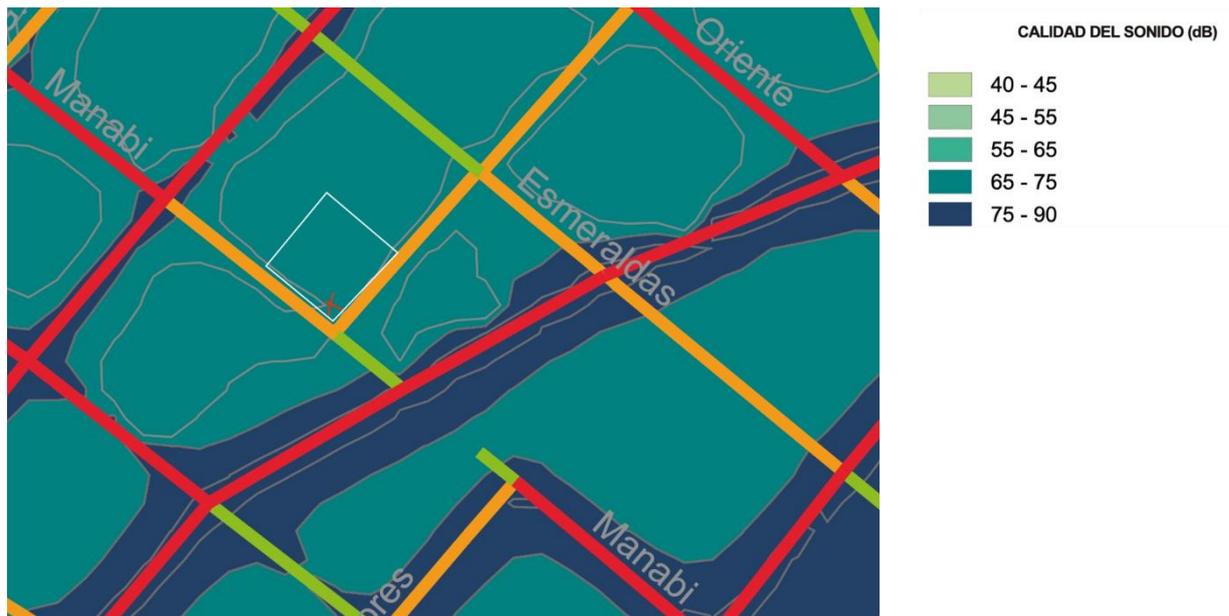


Fig. 28 Mapa de decibelios del centro histórico de Quito.

Las estrategias planteadas se enfocan, por un lado, en reducir el ingreso del sonido por las superficies más débiles, en términos sonoros, que son las ventanas y la perfiles de aluminio dado que la misma masa de las paredes de ladrillo resulta en un aislante sonoro importante para reducir el ruido del interior, y por otro lado en absorber el ruido que puede pasar en el interior.

Estas estrategias, se pueden aplicar a los 3 pisos, pero principalmente se aconseja que sean tomadas en cuenta para la planta baja. En cuanto a las plantas altas, la distancia mayor que significa la misma posición de estas con respecto a la calle, resulta en una reducción importante del ruido.

En cuanto al primer enfoque, para reducir el ingreso del ruido por las ventanas, se plantea el uso de vidrio (6mm) doble separado con una cámara de aire de 10mm, y con una carpintería especial de pvc o aluminio, que pueda sellar las aberturas entre la jamba metálica y la jamba de ladrillo. Tanto el uso de la superficie vidriada con cámara de aire, como la perfiles de aluminio son fundamentales para reducir el ingreso del sonido exterior. Además, se sugiere sellar con silicona cualquier desperfecto de unión. Es necesario señalar que la adición de aislamiento acústico en las paredes de ladrillo tendría un efecto mínimo en el interior, dado que la misma masa de esa mampostería

resulta suficiente para reducir el impacto del ruido, los puntos más frágiles siempre serán la superficie vidriada, y es donde se deben aplicar las estrategias.

En referencia a la absorción del sonido en el interior, se sugiere que se utilicen materiales absorbentes como alfombras en el piso y cortinas de un gramaje alto. Se debe especificar que el uso de persianas textiles no haría mayor diferencia en los resultados sonoros de esta estrategia, por lo cual no se sugieren estos elementos en estos espacios, al menos para fines acústicos. Así mismo en el interior se recomienda el uso de mobiliario de madera en lugar de metal, por el sonido tendrá una mayor absorción y la reverberación será menor.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCONEL (2014). EstadísticaSectorElectricoEcuatoriano2014C. Available at: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/boletines-estadisticos/>.
- ASHRAE (2001). Handbook of Fundamentals. Thermal radiation-Heat transfer.
- Beckers, B. and Masset, L. (2003) .HeliodonTM_2.6-1 software. Available at: www.heliodon.net.
- EnergyPlus, (2017), WeatherData. Recuperado de: <https://energyplus.net/weather>
- Inamhi (2017) *Atlas Hidrológico y Meteorológico Estudiantil 2017*, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, (2017). Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y consumo de energía en viviendas.
- Jaramillo, A. (2007). Acústica: La ciencia del sonido. Colombia, Editorial ITM
- 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.
- MCSE (2015) Balance Energético Nacional 2015. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, (2011). Norma ecuatoriana de la construcción. In Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador; Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda: Quito, Ecuador, 2011; Volume NEC-11.
- Neufert, E. (1975). Arte de Proyectar en Arquitectura. Duodécima Edición, Ed. Gustavo Gili. México.
- Torres, J. (2018). Comportamiento térmico de la cubierta en un clima cálido húmedo. Repercusiones energéticas en el edificio (Tesis doctoral). UPC, Barcelona-España