

Ciencia Nicolaita 87

ISSN: 2007-7068



Universidad
Michoacana
de San Nicolás
de Hidalgo

Estrategias de eficiencia energética en un edificio privado en clima cálido subhúmedo

Energy efficiency strategies in a private building in warm subhumid climate

Andrea Palacios De Paz,* Raúl Pavel Ruiz Torres, Heidy Gómez Barranco, y Eddy González García.

Para citar este artículo: Palacios De Paz Andrea, Ruiz Torres Raúl Pavel, Gómez Barranco Heidy, y González García Eddy, 2023. Estrategias de eficiencia energética en un edificio privado en clima cálido subhúmedo. Ciencia Nicolaita no. 87, 175-196. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi87.670>



Historial del artículo:

Recibido: 28 de mayo de 2022

Aceptado: 9 de noviembre de 2022

Publicado en línea: abril de 2023



Ver material suplementario



Correspondencia de autor: andydepaz95@gmail.com



Términos y condiciones de uso: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



Envíe su manuscrito a esta revista: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

Estrategias de eficiencia energética en un edificio privado en clima cálido subhúmedo

Energy efficiency strategies in a private building in warm subhumid climate

Andrea Palacios De Paz,^{1*} Raúl Pavel Ruiz Torres,¹ Heidy Gómez Barranco,¹ y Eddy González García.²

¹Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Facultad de Arquitectura

²Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Arquitectura

Resumen

Se presenta la evaluación energética de un edificio privado destinado a servicios especializados en apoyo a la reproducción humana, ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el estado de Chiapas, donde se tiene un clima cálido subhúmedo. El edificio, diseñado por el despacho AYB Arquitectos, no cuenta con estrategias bioclimáticas.

El objetivo principal fue determinar cuali-cuantitativamente el impacto de la aplicación de estrategias bioclimáticas en la clínica CREARH-ART, evaluando el factor energético para poder reducir los gastos energéticos que presenta. La clínica tiene una orientación sur poniente y una configuración compacta. Las estrategias aplicadas a la clínica constan de protección solar tipo *persianas* en la fachada principal (la más crítica), que comprende un ventanal ubicado al sur, así como aislamiento térmico en losa de azotea, específicamente un techo verde semi-intensivo. La evaluación se realizó por medio experimental y por simulación térmica en el periodo cálido.

La metodología propuesta para encontrar las estrategias se basa en el Sistema de Gestión de la Energía que consta de cinco etapas y se diseña considerando los requerimientos de la NC-ISO 50001: 2011 (CONUEE, n.d.). En consecuencia, el diseño del experimento fue basado en la metodología PHVA de mejora continua (planificar-hacer-verificar-actuar), la cual es una metodología cuali-cuantitativa, ya que se realizaron visitas a la clínica para obtener datos duros sobre el funcionamiento energético del edificio, esto mediante encuestas y entrevistas con los encargados de la clínica, y de manera experimental, por medio de monitoreo longitudinal en el periodo cálido. El monitoreo se realizó con sensores de temperatura del aire y humedad relativa al interior de la clínica. Para los *louvers* en el ventanal de la fachada principal, se instalaron sensores en la entrada de radiación solar al interior de la clínica, mientras que para el aislamiento térmico por losa de azotea, se instalaron en el tercer nivel de dicha clínica. Para la simulación térmica se comparó la clínica sin las estrategias y con estrategias; el software utilizado para la simulación fue *Design Builder*.

Los resultados demostraron que en un día típico del mes de diciembre con cielo despejado, la temperatura interior en el primer y segundo nivel resultó 7 °C por debajo de la temperatura exterior, que fue de 35 °C, mientras que en el tercer nivel resultó 6 °C menor que en el exterior; también se observó una disminución de la oscilación térmica en el interior. En la simulación energética, resalta



un ahorro de 49% de consumo energético al utilizar aire acondicionado en todas las zonas del edificio, sin contar los baños y las áreas de espera entre el modelo con estrategias y el modelo sin estrategias.

Palabras clave: evaluación térmica, eficiencia energética, estrategias bioclimáticas y edificio privado

Abstract

The energy evaluation of a private building called CREARH-ART regional center specialized in human reproductive support, Clinic located in the city of Tuxtla Gutierrez in the state of Chiapas, where it has a warm sub-humid climate, this building is a product of design of the architectural firm AYB Architects that does not have bioclimatic strategies since its conception.

The main objective was to determine qualitatively and quantitatively the impact of the application of bioclimatic strategies in the CREARH-ART clinic, evaluating the energy factor in order to reduce energy costs. The clinic has a south-west orientation (260 °N) and compact configuration, the strategies applied to the clinic consist of solar protection type louvers on the main facade (the most critical) consisting of a window and is located to the south and thermal insulation on the roof slab specifically a semi-intensive green roof. The evaluation was carried out experimentally and by thermal simulation in the warm period.

The methodology proposed to find the strategies is based on the Energy Management System that consists of five stages and is designed taking into account the requirements of the NC-ISO 50001: 2011. (CONUEE, n.d.) consequently the design of the experiment was based on the PHVA methodology of continuous improvement (plan-do-check-act) this is a quali-quantitative methodology since visits were made to the clinic to obtain hard data on the energy performance of the building this through surveys and interviews with those in charge of the clinic and experimentally through longitudinal monitoring in the warm period. The monitoring was done with air temperature and relative humidity sensors inside the clinic. For the louvers in the window of the main façade, sensors were installed at the entrance of solar radiation inside the clinic, and for the thermal insulation by roof slab, it was installed on the third level of the clinic. For the thermal simulation, the clinic was compared without the strategies and with strategies; the software used for the simulation was Design Builder. The results showed that on a typical day in December with a clear sky, the indoor temperature on the first and second levels was 7 °C below the outdoor temperature, being 35 °C outside, and on the third level it was 6 °C lower than outside, and a decrease in the indoor thermal oscillation was also observed. The energy simulation showed a 26% saving in energy consumption when using air conditioning in all areas of the building, excluding restrooms and waiting areas, between the model with strategies and the model without strategies.

Keywords: thermal assessment, energy efficiency, bioclimatic strategies and private building

Introducción

Los edificios hospitalarios (clínicas, hospitales y centros de salud) son unos de los mayores consumidores de energía, ya que el uso es continuo los 365 días del año, las 24 horas, además, los requerimientos de confort y servicios médicos específicos, tales como equipamiento médico, calidad del aire, etc., los convierte en una tipología arquitectónica altamente intensiva (Szklo *et al.*, 2004; López Cristlà, 2011).

Mientras los hospitales se equipen con nuevas tecnologías, tenderán a aumentar el consumo energético, reflejando un aumento significativo de los costos de funcionamiento, por lo cual la eficiencia energética se ha convertido en uno de los temas de preocupación a nivel mundial en los hospitales (Lee & Rajagopalan, 2008). Además, el conocido incremento en los índices de dióxido de carbono (CO₂) que provocan el calenta-

miento global, incentiva y crea una necesidad por implementar nuevos sistemas o estrategias para aumentar la eficiencia energética en las instituciones hospitalarias, como la implementación de la NTC- ISO 50001, que se enfoca en la identificación del consumo energético en los equipos, sistemas o procesos de una organización. La gestión energética integrada en todos los procesos de la organización, es la estrategia de la norma para alcanzar un aumento en la productividad y una disminución en el impacto ambiental (CONUEE, n.d.). Todo lo anterior se enfoca en la importancia de la reducción de costos energéticos en los edificios del sector salud sin perder calidad de servicios y tomando en cuenta la reducción de la contaminación ambiental.

Los principales impulsores para incorporar la gestión de la energía como parte de la política pública son, principalmente, la seguridad energética, el desarrollo económico y la competitividad, el cambio climático y la salud pública (SENER-CONUEE-GIZ, 2016). Entre las principales estrategias de eficiencia energética en edificaciones, podemos mencionar la reducción de consumo de energía eléctrica por acondicionamiento del ambiente, mejorar el aislamiento térmico en las construcciones y promocionar mejores prácticas en edificaciones.

En este contexto, el presente trabajo se centra en evaluar el comportamiento térmico y el consumo energético de la clínica CREARH-ART en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con estrategias bioclimáticas, entre las que destacan: protección solar tipo *Louvers* y uso de aislamiento térmico por losa. Cabe destacar que la clínica fue diseñada con ventilación mixta, es decir, en ciertos horarios y meses se pretendía usar la ventilación natural y en otros periodos el aire acondicionado en ciertas zonas, pero este diseño poco ha funcionado. Se realizó un monitoreo de las temperaturas del aire al interior en diferentes zonas de la clínica, y para conocer el impacto de la aplicación de las estrategias en el consumo energético, se realizó una simulación térmica y energética con el software *Design Builder*, simulando el edificio sin estrategias y con estrategias.

Becerra y Riquetti (2015) desarrollaron en Ecuador proyectos enfocados a mejorar la eficiencia energética en el sector público hospitalario. Es importante comenzar a plantear soluciones energéticas que brin-

den los mismos servicios, pero con un menor consumo energético. Los esfuerzos que se implementen en función de lograr la eficiencia y uso racional de la energía, son factores decisivos para alcanzar mejores niveles de progreso económico y social en el país. En el trabajo se determinó los requerimientos energéticos, para ello se analizó toda la infraestructura del hospital: locales, servicios que brinda, equipos de los que dispone, tiempo que los emplea y el tipo de energía que requiere; una vez establecido el consumo energético, se calcularon los índices de consumo energéticos, tanto eléctricos como térmicos. Los índices calculados tienen como objetivo comparar el consumo energético del hospital con estándares internacionales, tanto en la etapa de realización del estudio, como en la propuesta (Becerra & Riquetti, 2015).

Por otra parte, Edwin Nestor Castañeda Ramírez (2003), realizó la tesis "Propuestas para uso eficiente de energía en la red de hospitales públicos del Gran San Salvador", donde planteó una solución realista al problema del alto consumo energético que se tiene actualmente en la red de hospitales públicos del Gran San Salvador. La problemática se trató desde el punto de vista de la eficiencia energética que puede lograrse por concepto de iluminación y cargas instalada de aires acondicionados, para lo cual se escogió específicamente dos grandes áreas en las que existen mayores posibilidades de ahorro, gracias a la tecnología que hoy en día pone a nuestra disposición instrumentos que resultan mucho más eficientes en cuanto al aprovechamiento de la energía (Castañeda Ramírez, 2003).

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de Iluminación (CEI), establecieron una serie de pautas y recomendaciones para ayudar a los técnicos responsables de proyectar o redactar especificaciones técnicas de las instalaciones de iluminación de hospitales y otros centros relacionados con la salud, en su tarea de establecer los criterios de calidad a satisfacer en las mismas, seleccionando los sistemas de iluminación, luminarias, lámparas, equipos auxiliares de encendido y sistemas de regulación y control, así como los criterios básicos de diseño de dichas instalaciones, con la finalidad de racionalizar el uso de la energía con instalaciones de la mayor eficiencia energética posible. Para ello se estableció un procedimiento a seguir por el técnico en las fases de diseño, cálculo, selección de equipos y estudio energético y económico de alternativas,



al igual que para los aspectos de mantenimiento y explotación de la instalación, desde el punto de vista de la eficiencia y el ahorro energético (Mi Ciencia y Tecnología, 2001).

Marco teórico

En este trabajo fue necesario incluir estrategias de diseño bioclimático en el edificio, para lo cual fue importante contar con referencias que nos ayudaran a evaluar las variables climáticas que se generan al interior de un espacio. En este sentido, consideramos el enfoque adaptativo para determinar el rango de confort. Algunos investigadores, como Humphreys y Nicol, han abogado por establecer modelos de confort diferenciados con el tipo de funcionamiento térmico de los edificios. Particularmente los investigadores mencionados, han publicado varios modelos estadísticos de confort, el modelo con edificios pasivos, con sistemas de climatización y otro cuyo funcionamiento es desconocido. Bajo esta premisa, se utilizó el siguiente modelo de confort de Nicol para determinar la temperatura neutral de confort y la zona de confort para el clima en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Al valor de la T_n se le sumará y restará 2.5 k, siendo un rango de confort de 5k.

$$T_n = 17 + 0.38 * T_m$$

Ecuación 1. Ecuación para calcular la temperatura neutral de confort. Fuente: Gómez *et al.*, 2007.

Otra presuposición al realizar una evaluación térmica y energética, es considerar la idea principal del desempeño térmico y energético del edificio que explica de manera cuantificable qué tan bien un edificio y sus sistemas proporcionan las tareas y funciones que se esperan de ese edificio (Wilde, 2017).

En el desempeño energético, la referencia es el consumo de electricidad, siendo el ahorro del consumo el punto a evaluar, obtenido de la simulación presentada en Watts y Watts por metro cuadrado (W/m^2).

Metodología

Está basada en tres fases generales que engloban la metodología PHVA de mejora continua (planear-hacer-verificar-actuar). La primera es la fase teórica

donde damos a conocer la síntesis del estado actual energético del edificio, la síntesis arquitectónica y el marco teórico; la segunda es la fase experimental (equipos y monitoreo); y la tercera fase corresponde a la evaluación con software especializado (proceso de simulación térmica-energética).

El texto se encuentra estructurado de la siguiente manera:

1. Localización y clima: se describe la localización, condiciones del clima de Tuxtla Gutiérrez donde se encuentra la clínica y las estrategias bioclimáticas que se tomaron en cuenta para el proyecto de investigación.
2. Descripción del proyecto (caso de estudio): se describe la idea arquitectónica del proyecto actual y su configuración energética.
3. Equipos y monitoreo: descripción del equipo de monitoreo experimental.
4. Proceso de simulación térmica-energética: se describe el proceso de la simulación utilizando (*Design Builder*), materiales, áreas y detalles de las estrategias bioclimáticas implementadas.
5. Resultados: se presentan los resultados en gráficas y tablas, considerando los parámetros de evaluación térmica y energética.
6. Conclusiones: se describen los hallazgos más relevantes comprobando la hipótesis planteada y los alcances logrados.

1. Localización y clima

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se ubica en latitud norte 16.75 y longitud oeste de 93.13, tiene una altitud de 570 msnm, con temperatura promedio de máxima anual de 32 °C, temperatura media anual de 25.8 °C y temperatura promedio mínima anual de 19.5 °C, con una humedad relativa anual de 65.0% (Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, 1981-2010).

En la Figura 1 se observa que Tuxtla Gutiérrez tiene un clima cálido subhúmedo. De acuerdo a la carta psicrométrica de Givoni, se da a conocer que las estrategias de diseño bioclimático para este tipo de clima son: ventilación natural, enfriamiento de la envolvente del edificio y protección solar, esta viene implícita porque no se considera como ganancia térmica.

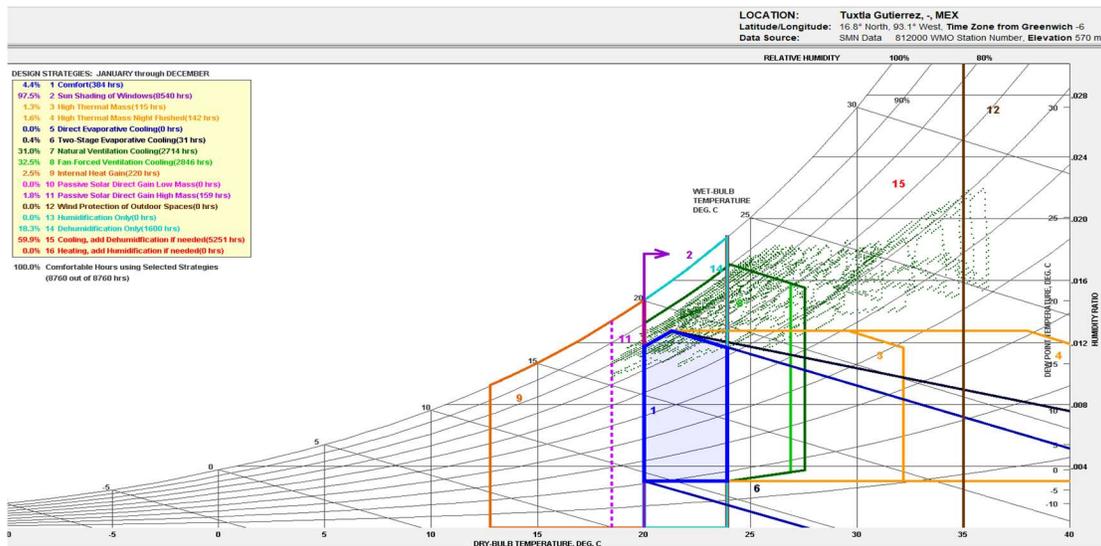


Figura 1. Carta psicrométrica con estrategias de Givoni para Tuxtla Gutiérrez.
Fuente: Elaboración propia (EPW en *Climate Consultant 6.0*).

La orientación de la fachada principal de la clínica se encuentra en el surponiente.

De acuerdo a la tabla de estrategias de diseño de Givoni, las más importantes son:

- 97.5% Sombreado en ventanas.
- 31.0% Ventilación natural.
- 32.4% Ventilación forzada.
- 60.7% Enfriamiento.

A partir del análisis bioclimático se sintetizaron las siguientes estrategias que fueron aplicadas al edificio en la simulación:

- Sombreado en ventanas a la luz del sol. No existe protección solar en el proyecto, pero se cuenta con volados que por diseño están en la volumetría del proyecto; sin embargo, por la radiación solar se necesita protección solar en

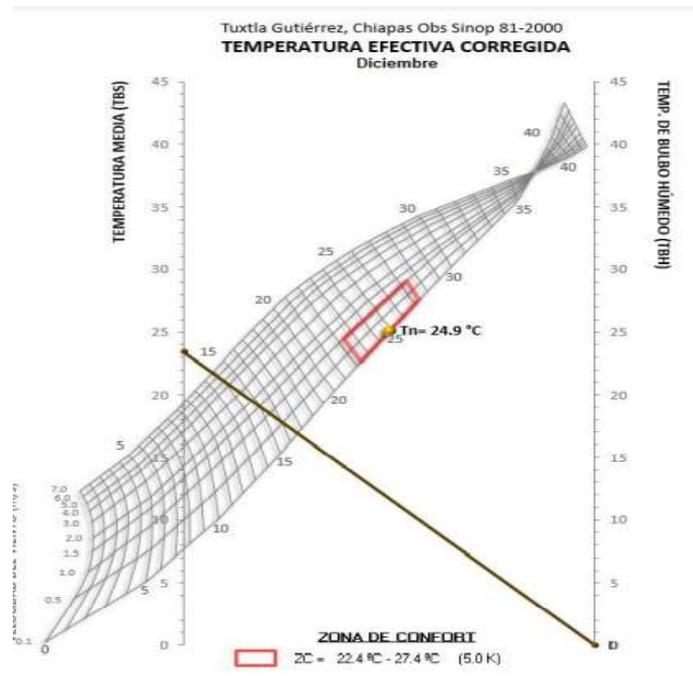


Figura 2. Umbral de confort. Fuente: Elaborado a partir del BAT (*Bioclimatic Analysis Tool*/herramienta).



Figura 3. Vista aérea de la clínica.

la envolvente, por ello, se aplicó el uso del sistema de *persianas* con una inclinación exacta para evitar la radiación solar en la fachada principal de la simulación con estrategias.

- Enfriamiento. Se propone que mediante el aislamiento térmico en techos (losa de azotea) del edificio se reduzcan las ganancias y pérdidas de calor.

En la Figura 2 se hizo uso del BAT, donde se introdujeron variables y datos ya determinados de temperaturas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, para obtener distintas tablas y gráficos que nos ayudaron a ahondar más en la Información. Dicho esto, podemos observar que el BAT nos arrojó un umbral del confort

de 24.9 °C, valor que fue nuestra variable de confort y que representa la medida de temperatura a la que nos tenemos que acercar para lograr reducir las temperaturas interiores en la clínica.

2. Descripción del proyecto

La descripción del proyecto engloba la geometría realizada en *Design Builder*. El caso de estudio es un edificio ya construido, específicamente, una clínica privada (Figura 3).

Como podemos observar en la Figura 4, actualmente la clínica tiene un ventanal de dos niveles en la fachada principal donde la radiación solar entra de

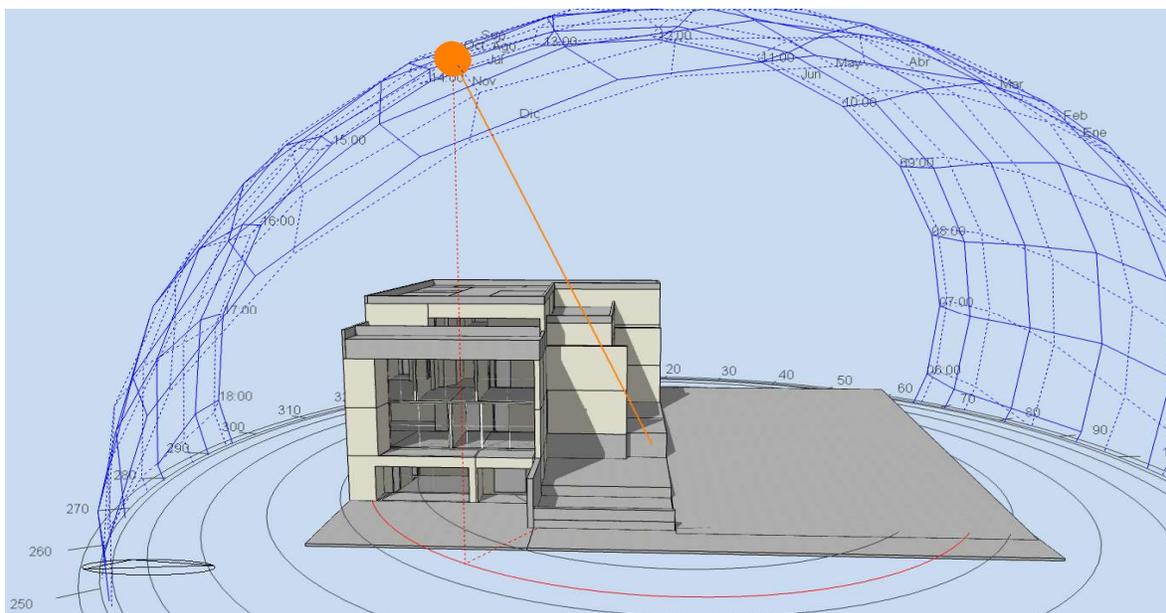


Figura 4. Clínica CREARH-ART (montea solar).

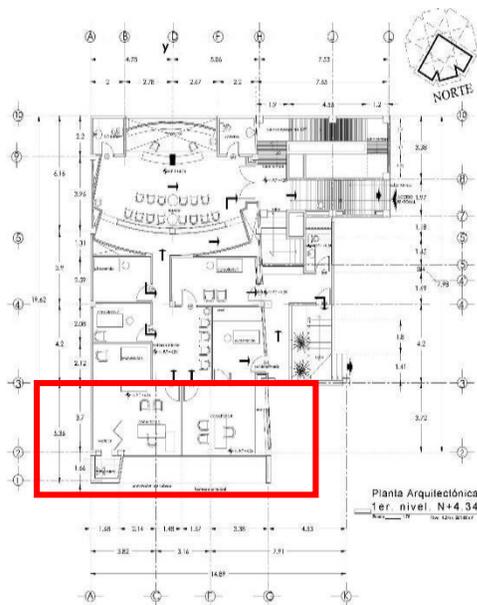


Figura 5. Planta arquitectónica del primer nivel.
Fuente: Dibujo arquitectónico obtenido por el despacho.

manera crítica, ya que cuenta con orientación sur poniente. Un punto importante es la configuración energética que tiene el edificio actual, es decir, qué aparatos eléctricos posee, cuántas personas usan el edificio, cómo se refrigeran los espacios, etc. Para esto se llevaron a cabo diferentes visitas con el objetivo de realizar una auditoría energética y con ello ampliar el contexto energético del edificio.

El edificio tiene cuatro áreas, a saber: en planta de sótano se encuentran los espacios de análisis de sangre y estudios; en el primer nivel está el área de consultas; en el segundo nivel están los quirófanos; y en el tercer nivel se encuentran las habitaciones de recuperación. Es importante recalcar que las áreas más afectadas por la radiación solar son los espacios del segundo y tercer nivel (Figura 5).

El aislamiento térmico en losa se implementará en el tercer nivel del edificio, ya que es donde se encuentra la losa de azotea; con este aislamiento reduciremos la conductividad térmica. Por otra parte, la configuración energética del edificio fue desglosada por medio de una pequeña auditoría energética a la clínica, la cual consistió en tomar datos generales de la clínica y datos de aparatos electrónicos que se encuentran en ella, tales como, computadoras, ventiladores, televisores y luminaria. Se concluye en este apartado que los aparatos electrónicos son los necesarios para su uso, pero los usuarios no tienen una cultura de ahorro energético y, por otra parte, la ventilación de los espacios no es la correcta en cuanto a cargas de refrigeración, a lo que se suma el uso excesivo de los aparatos de ventilación, tales como, aire acondicionado y ventiladores.

3. Equipos y monitoreo

Para medir la temperatura de bulbo seco del aire interior (TBS), se utilizó el HOBO U12-012 que posee las siguientes especificaciones: rango de medición de temperatura (-20 °C a 70 °C), Humedad Relativa (RH): 5% a 95% RH. La calibración de los equipos se realizó comparando con un equipo previamente calibrado por un laboratorio de ensayo. Se usaron cuatro equipos para las áreas de cada nivel, siendo protegidos de la radiación solar directa de ventanas. Se colocaron en una altura y posición intermedia en el espacio. Los sensores se colocaron de acuerdo a la Tabla 1.

El periodo de medición fue de julio a diciembre, considerando mayo el mes más crítico, ha sido utilizado para las comparaciones. Las zonas con temperaturas internas más altas, fueron el primer nivel donde se encuentran los consultorios 3 y 4, así como tercer nivel donde se ubica la cafetería; estos dos niveles se

Tabla 1
Equipos utilizados.

Sensor	Medición
1-Hobo U12	Primer nivel-zona de los consultorios 3 y 4.
2-Hobo U12-012	Primer nivel-zona de espera para consultas.
3-Hobo U12-012	Segundo nivel-zona de quirófanos.
4-Hobo U12-012	Tercer nivel-zona de cafetería.

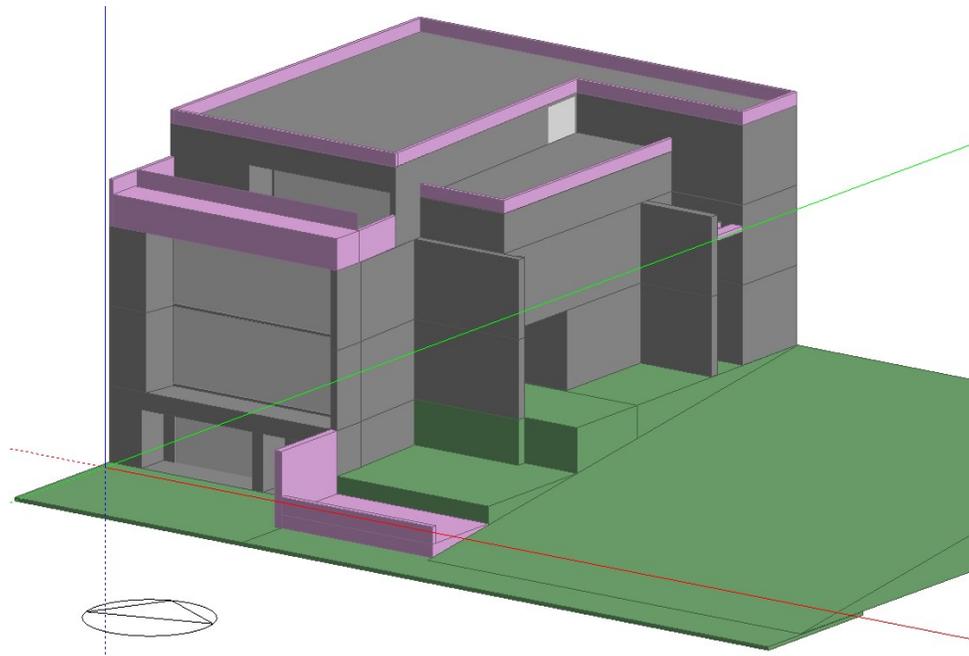


Figura 6. Modelo geométrico de la simulación térmica de la clínica.

convierten en un foco de gran importancia, ya que están generando mayor temperatura interna que externa. Esta variable fue la primera en ser detectada.

4. Proceso de simulación térmica-energética

Se realizó la simulación térmica con el software *Design Builder*. El primer paso fue la modelación del edi-

ficio mediante los planos arquitectónicos que nos fueron entregados por los arquitectos diseñadores de la clínica. La modelación fue realizada en el mismo programa de simulación (Figura 6).

Un paso importante en el proceso de modelación fue establecer los datos precisos de los materiales de construcción utilizados. El programa nos genera un modelo volumétrico donde podemos observar los materiales con diferentes colores para identificarlos de mejor manera (Figura 7). Todos los muros del edificio

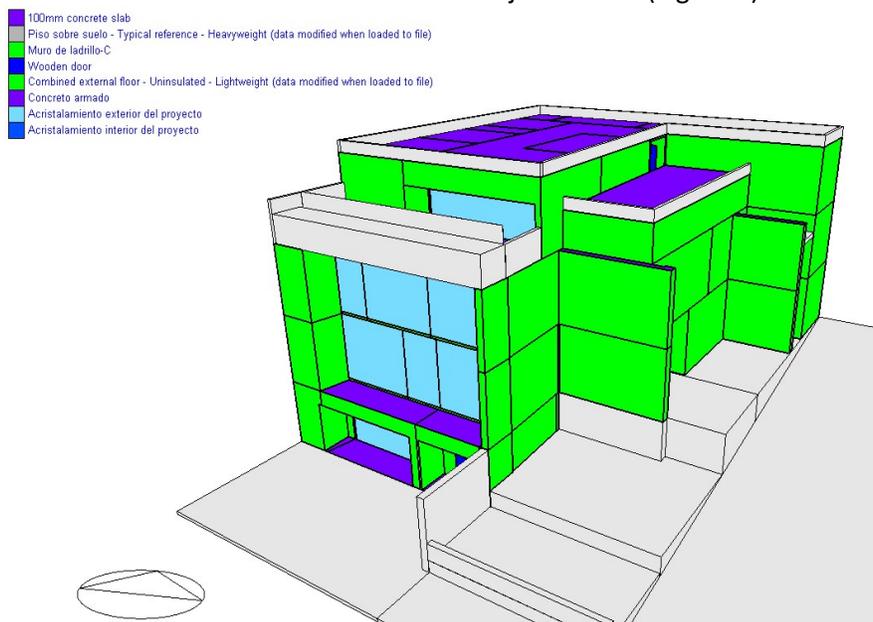


Figura 7. Visualización del modelo con los materiales.

Tabla 2
Materiales utilizados en la envolvente de la clínica para la simulación con estrategias y sin estrategias.

Código material	Tipo	Material	Espe-sor (m)	Conductividad tér-mica (W/(m·K)	Densidad (Kg/m ³)	Calor especí-fico (J/Kg·K)
MCA	Mate-riales opa-cos	Mortero cemento arena	0.020	0.72	1860	840
L		Ladrillo	0.130	0.814	1800	921
CA		Concreto armado	0.100	1.75	2300	920
T		Tierra	0.25	0.52	2050	-
MG		Membrana geotextil	0.01	0.036	2400	710
MD		Membrana con hue-cos drenantes	0.07	0.040	1500	1400
IB		Impermeabilizante blanco	0.001	0.35	1500	1300
LC		Loseta cerámica	0.009	1.300	2300	840
CC	Trans-pa-ren-tes	Cristal claro	0.003	Conductividad tér-mica (W/(m·K)	Transmisión so-lar total	Transmisión solar directa
				0.9	0.861	0.837

Fuente: Elaboración propia a partir de la CTE (2010).

Tabla 3
Componentes constructivos CLI-E y CLI-SE.

Tipo	Componentes constructivos	Materiales (Capas exterior a interior)
Vivienda sin Estra-tegias	Muro exterior e interior	MCA+L+MCA
	Losa de concreto armado	IB+CA+MCA
	Entrepiso	LC+CA+MCA
	Ventanas	CC
Vivienda con Estra-tegias	Muro exterior e interior	MCA+LA+MCA
	Losa de concreto armado aislante térmico (techo verde semi intensivo)	T+MG+MD+MG+IB+CA+MCA
	Entrepiso	LC+CA+MCA
	Ventanas	CC

están contruidos de ladrillo, siendo esta el caparazón de la clínica, dichos muros tienen un recubrimiento de mortero cemento-arena, las losas son de concreto armado con un espesor de 10 cm, la losa de azotea tiene un impermeabilizante blanco, los pisos sobre suelo y entrepisos están constituidos por concreto armado y tienen losetas cerámicas, los materiales transparentes utilizados son de cristal claro.

Los datos de dichos materiales se presentan en la Tabla 2, donde damos a conocer el código de cada material, tipo, material, espesor en metros, conductividad térmica de cada material, densidad y calor específico. Estos datos están referenciados al Catálogo de

elementos constructivos del Código Técnico de Edificación (CTE, 2010).

Los componentes constructivos fueron introducidos como se indica en la Tabla 3, donde se presentan dos filas principales: clínica con estrategias (CLI-E) y clínica sin estrategias (CLI-SE). En la primera columna observamos los componentes constructivos y en la segunda los materiales con sus capas de exterior a interior, así como las consideraciones en las simulaciones realizadas. Como podemos observar, en la clínica con estrategias se le añadió a la losa de concreto cinco capas más, ya que se incluye el aislante térmico en losa con un techo verde semi intensivo.



Tabla 4
Parámetros relevantes introducidos en las simulaciones.

Parámetros de simulación	Valores agregados	
	CLI-SE	CLI-E
Periodo de simulación	1º de enero a 31 de diciembre	
Archivo climático	EPW desarrollado a partir de meteonorm y editado de acuerdo a la estación 07165 de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, de la normal climática 1981-2010 del SMN	

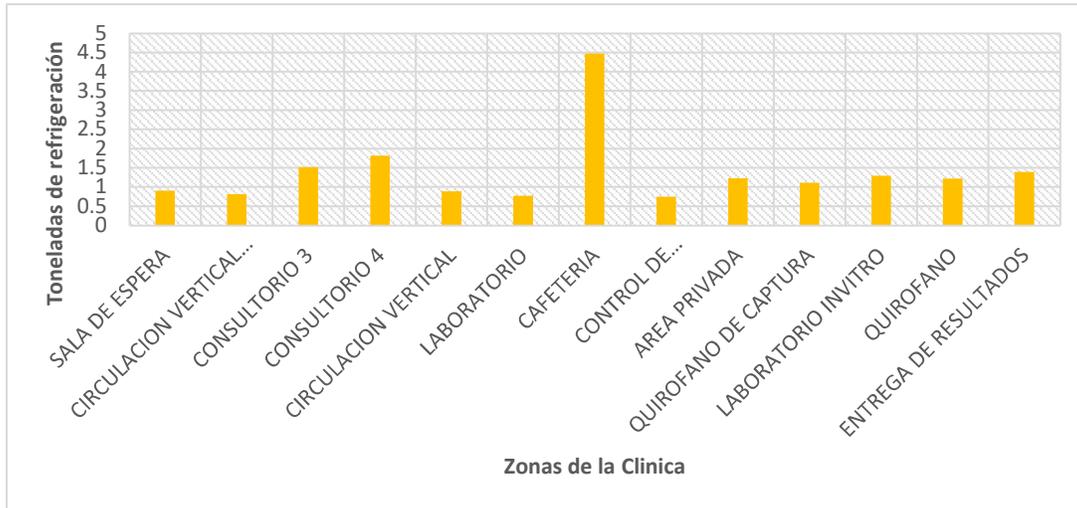


Gráfico 1. Toneladas de refrigeración necesarias para la climatización de la clínica (edificio sin estrategias).

A continuación se presentan los parámetros de simulación, aspectos del archivo climático EPW (*Energypus Weather File*), que nos servirán para analizar de manera precisa los datos climáticos del lugar donde se encuentra la edificación (Tabla 4). El *Design Builder* permite obtener un sinnúmero de variables, en este caso, nos centramos en la Temperatura de

Bulbo Seco (TBS) para poder comparar con la medición experimental. La simulación con *Design Builder* permitió obtener el consumo energético utilizando aire acondicionado en toda la clínica y como resultado obtuvimos los kWh/m² o toneladas de refrigeración de cada espacio (Gráfico 1).

Las toneladas de refrigeración generan el dato para acondicionar los espacios, es decir, los aparatos

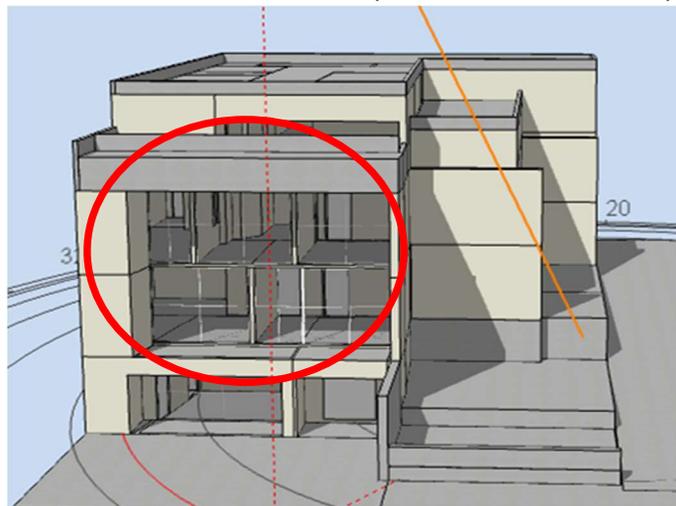


Figura 8. Visualización del modelo (fachada sur crítica).

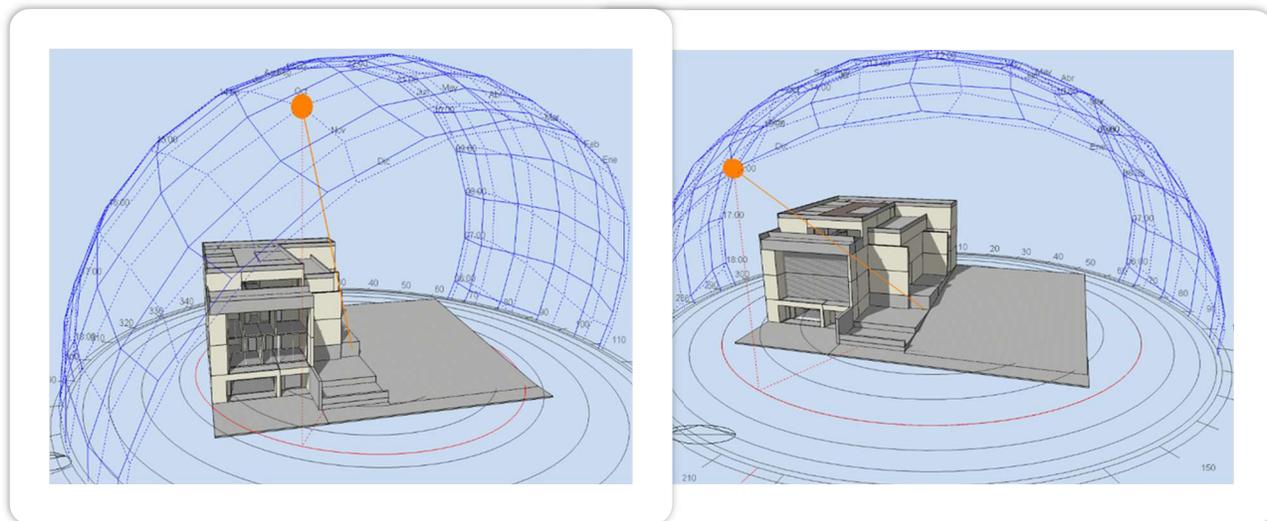


Figura 9. Geometría de la modelación en *Design Builder*.

de aire acondicionados exactos para que las áreas no tengan que usar en exceso estos aparatos, que es justamente lo que sucede actualmente, generándose una carga energética mayor. Los espacios en los que más se usa el aire acondicionado son, como se observa en la Figura 8, los que se encuentran en la fachada principal donde está el ventanal, esto debido a la radiación solar y a la losa de azotea, y donde se encuentra la cafetería que, como observamos en la Tabla 5, es la que mayor refrigeración ocupa por la transferencia de calor por la losa.

Análisis de la protección solar en ventanas

En la Figura 9 se hace el análisis de la geometría por medio de la modelación con el software de *Design Builder*, que es una herramienta para identificar aspectos

del comportamiento de soleamiento en la edificación. Esto nos permitirá saber si verdaderamente el uso de *louvers* en el ventanal de la fachada crítica de la clínica, ayudará a reducir las temperaturas interiores de los espacios mencionados anteriormente.

La protección solar en ventanas se hizo a partir de *louvers*, dispuestos de la siguiente manera: *louvers* de 0.20 m de profundidad con un ángulo de 30°, separados entre ellos 0.15 m (Figura 10). Se colocaron en todo el ventanal que compone la fachada principal que, cabe recalcar, es la fachada más crítica en cuanto a radiación solar. Esta estrategia de sombreado en ventanas al sur nos ayudará a reducir la entrada de radiación solar al interior de los espacios más afectados (Figura 11).

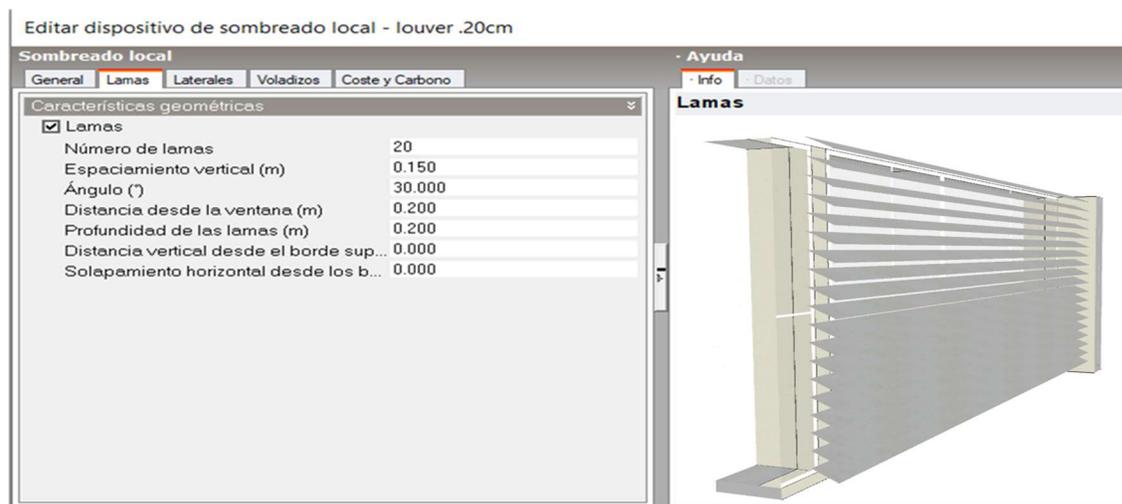


Figura 10. Estrategia de protección solar en ventanas. Parámetros para la simulación.



Figura 11. Estrategia de protección solar en ventanas.

5. Resultados

Monitoreo experimental

Para los resultados del monitoreo experimental con los HOBO, se exponen los espacios más críticos, es decir, primera y tercera planta. En la primera planta están los consultorios 3 y 4 que se encuentran en la fachada sur (la más crítica) y que, como ya se mencionó, dispone de un ventanal de cristal claro que genera radiación solar constante. En el caso del tercer piso, allí se ubica la cafetería que por losa genera transferencia de calor. Actualmente, dichos espacios tienen aire acondicionado, pero no es el correcto para generar confort, lo que provoca un uso excesivo de este equipo. Para llevar a cabo el monitoreo experimental, se seleccionó el 7 de noviembre de 2021, debido a que presentaba condiciones de cielo despejado, lo que evitaría efectos como nubes que pudieran afectar el análisis.

En la Figura 12 se presenta la TBS interior de los consultorios 3 y 4 ubicados en la primera planta, así como la TBS interior de la cafetería situada en el tercer nivel. Se seleccionó el 07 de noviembre de 2021 por dos razones: fue el mes crítico y fue el día con condiciones de cielo más despejado. La zona de confort térmico (ZCT) con el modelo adaptativo resultó de 24.3 °C como límite inferior (LI) a 29.3 °C como límite superior (LS). La TBS interior de los consultorios 3 y 4, está fuera de la zona de confort a partir de las 13:00 h y vuelve entrar a la ZCT en la madrugada. En el caso de

la cafetería, está fuera de la zona de confort a partir de las 14:00 h y vuelve a entrar en ZCT en la madrugada. La gráfica da a conocer que la temperatura externa (TBS ext) es menor que la interna, es decir, está más caluroso por dentro que por fuera.

En la Figura 13 se presenta la medición de los días críticos del mes de noviembre. Se seleccionó este mes porque la inclinación del sol para Tuxtla Gutiérrez es directa a las ventanas de la fachada principal de la clínica, tal como se observa en la gráfica de la Figura 14. La inclinación del sol al sur es directa, sobre todo en las horas críticas que son a partir de las 12:00 a las 17:00 h. Con esto justificamos el por qué usar el mes de noviembre como mes crítico.

Las simulaciones por *Design Builder* arrojaron datos importantes de la clínica con estrategias y sin estrategias. En las Figuras 15, 16, 17 y 18, observamos que el uso de protección solar en ventanas reduce 5 °C la temperatura interna en el consultorio 4; con tan solo el uso de *louvers* en el ventanal con orientación sur (la más crítica) redujimos ampliamente los niveles de temperatura interna. La línea roja (temperatura radiante interna) es la variable que podemos controlar por medio de las estrategias bioclimáticas, en este caso, los *louvers*; la línea gris (temperatura exterior) es la que no impacta a las temperaturas; la línea azul es la que concierne a la temperatura del aire; y la franja azul indica la ZCT.

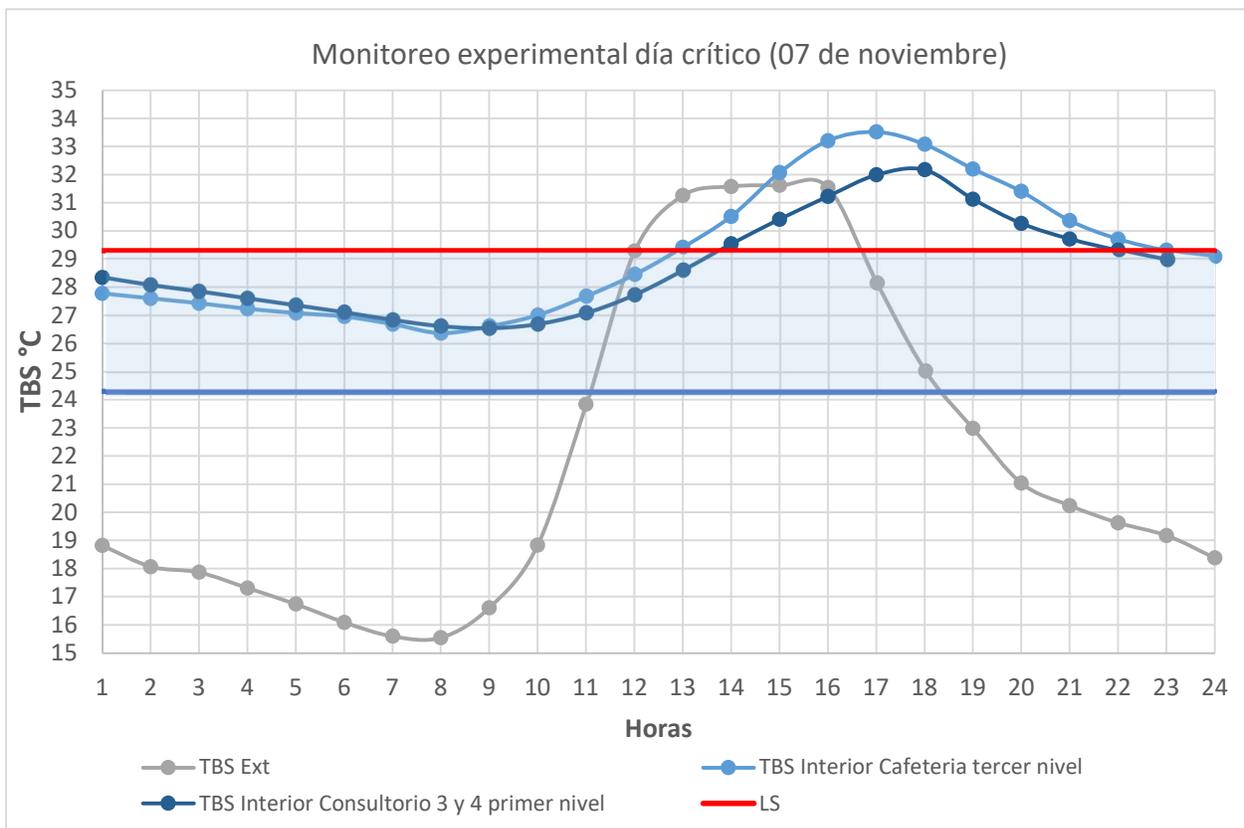


Figura 12. TBS del monitoreo experimental del 07 de noviembre de 2021.



Figura 13. TBS exterior de días críticos del mes de noviembre de 2021.
Fuente: Estación fija del LNVCS-UNACH.

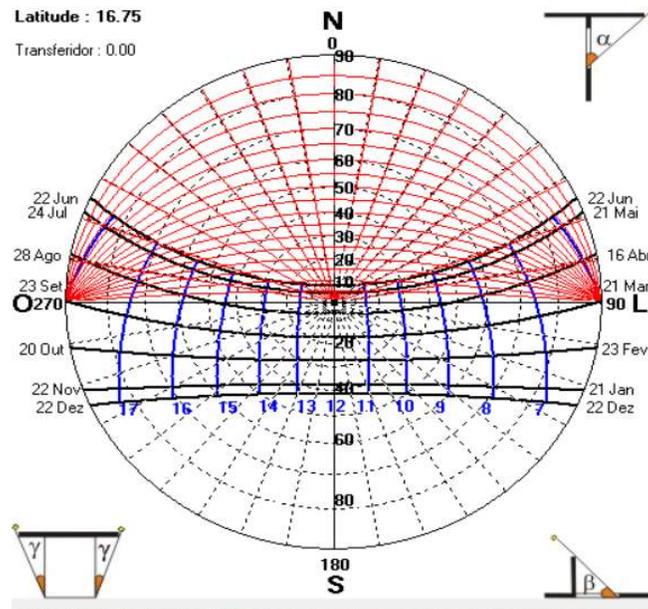


Figura 14. Gráfica solar de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: SOL-AR.

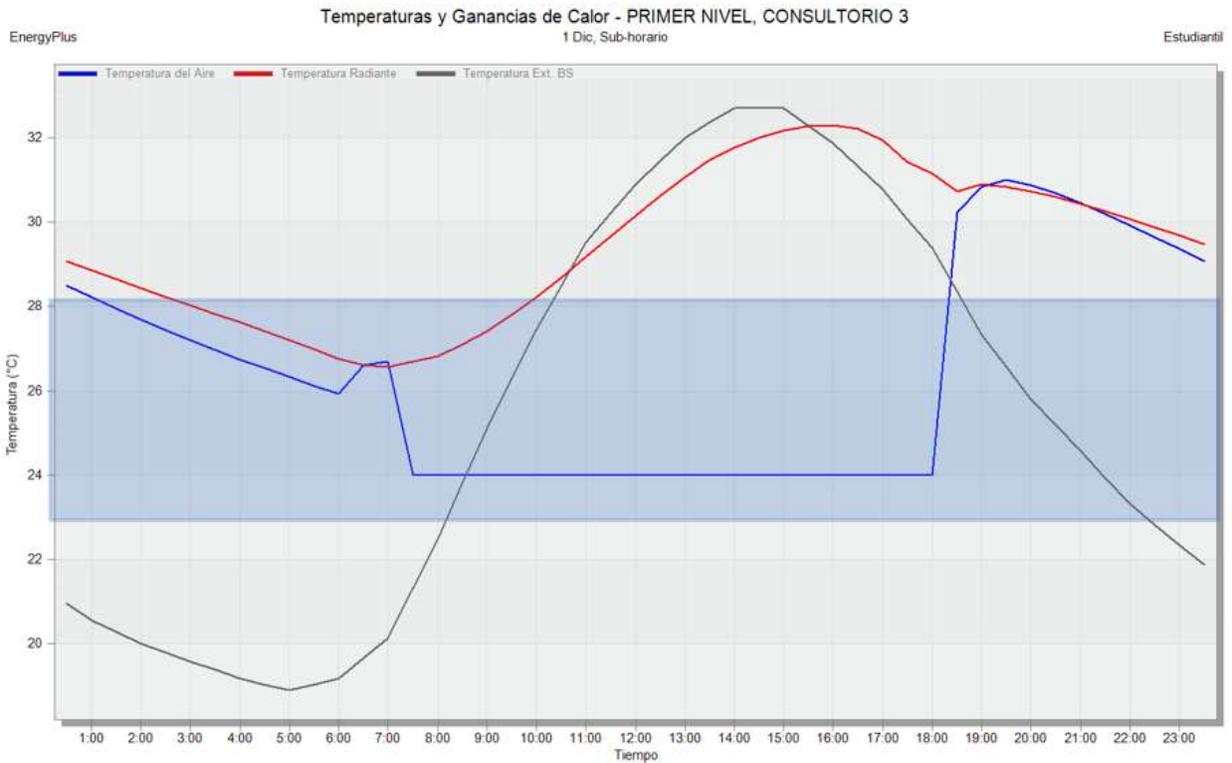


Figura 15. Temperaturas y ganancias internas de calor (consultorio 3). Sin estrategias. Con AC.

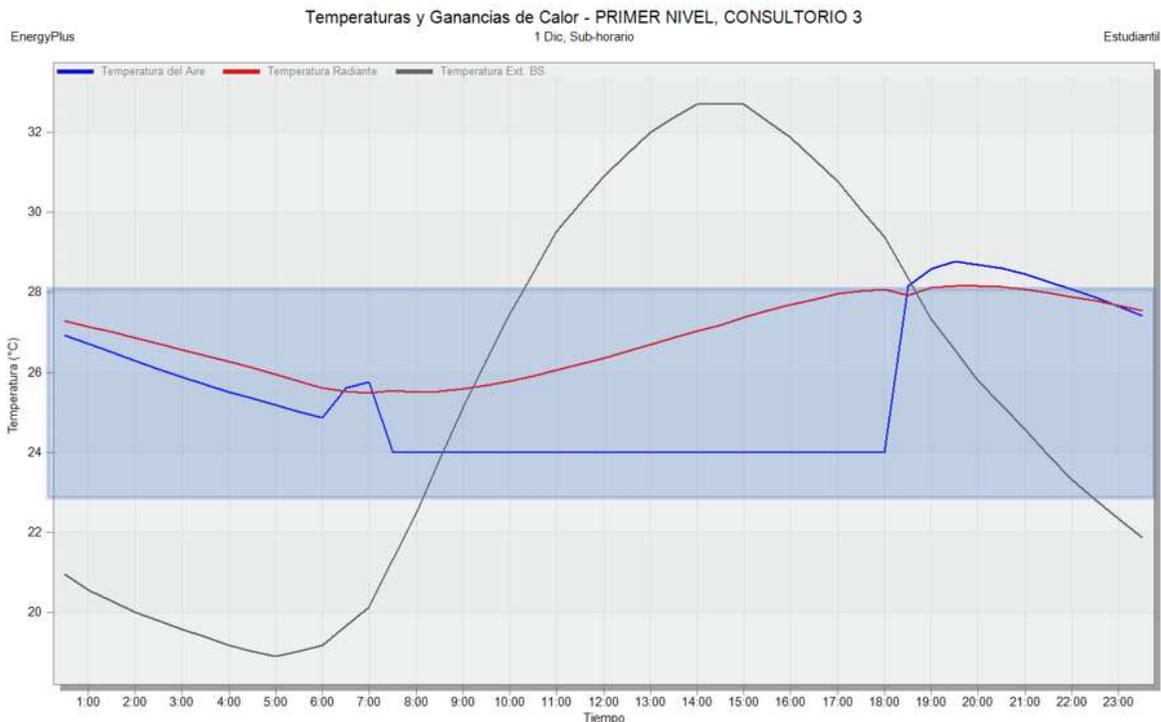


Figura 16. Temperaturas y ganancias internas de calor (consultorio 3). Con estrategias. Con AC.

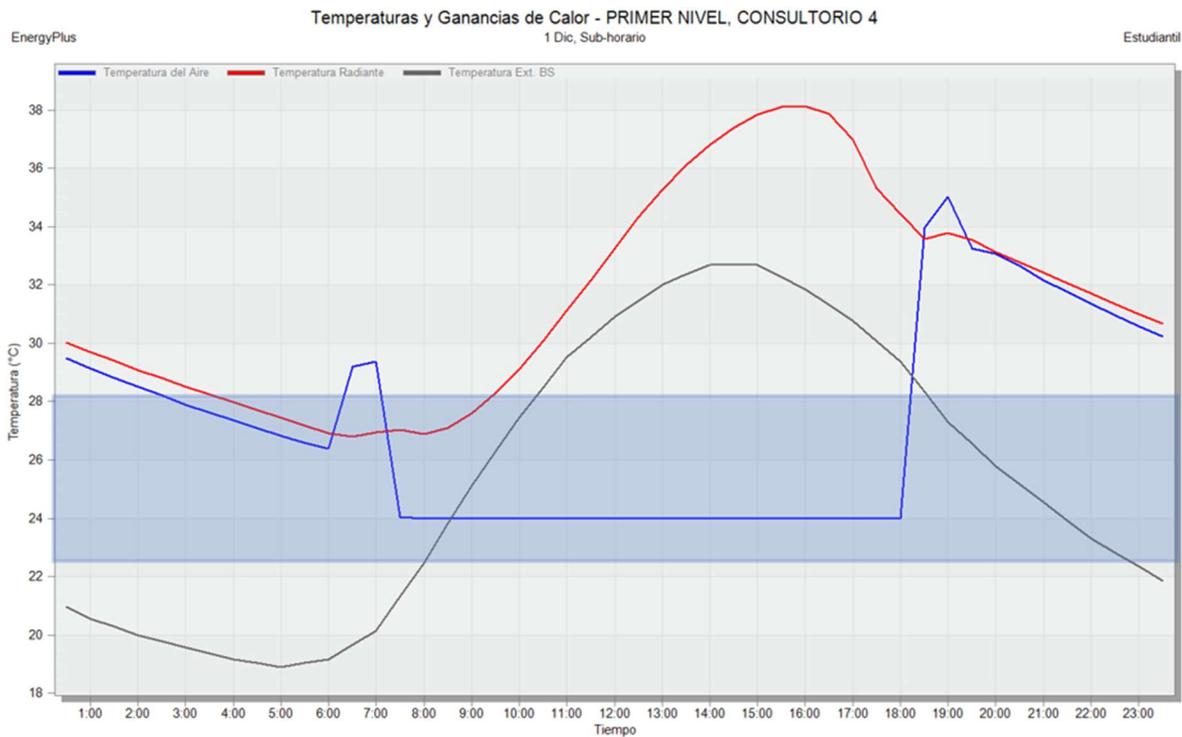


Figura 17. Temperaturas y ganancias internas de calor (consultorio 4). Sin estrategias. Con AC.

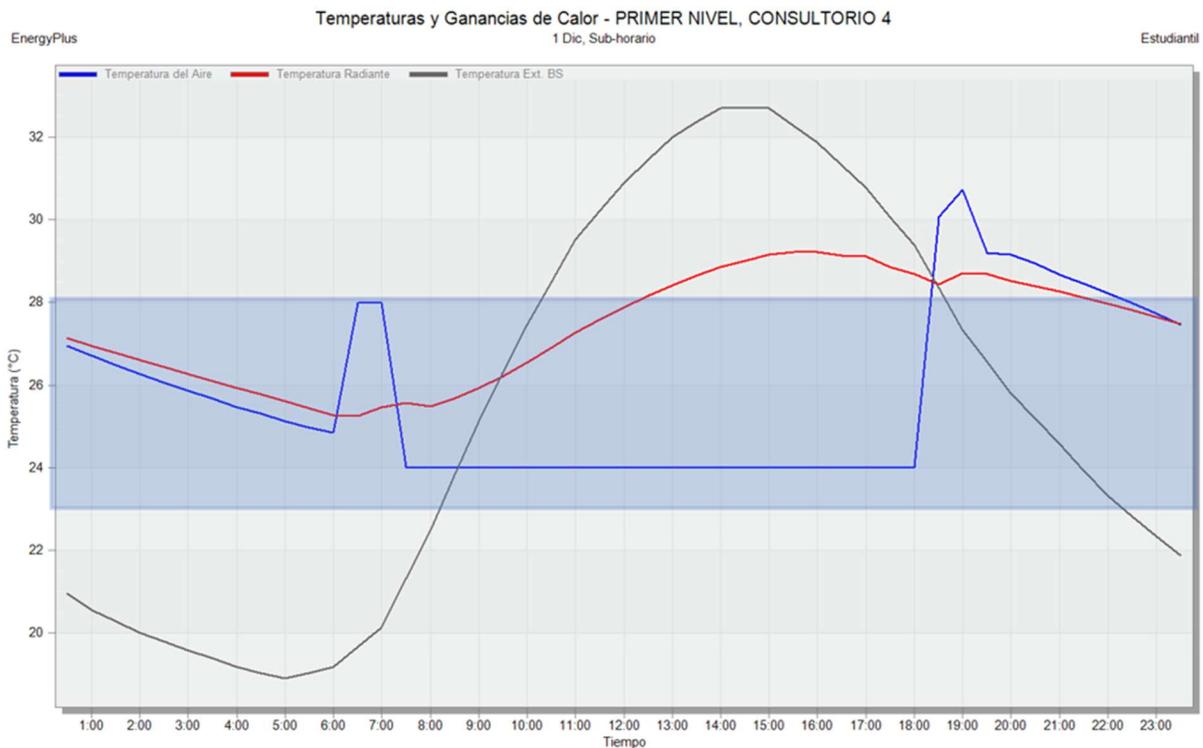


Figura 18. Temperaturas y ganancias internas de calor (consultorio 4). Con estrategias. Con AC.

En el caso de las Figuras 19 y 20, presentamos las gráficas de simulación de la cafetería ubicada en el tercer y último nivel de la clínica, cabe recalcar que para este nivel, como estrategia bioclimática, se propuso aislante térmico de techo verde semi intensivo que ayudará a reducir la transferencia de calor al último nivel del edificio. Como se observa en la Figura 18, las temperaturas internas están elevadas hasta 32 °C y se logran reducir con el aislante térmico hasta 28 °C, con lo cual ayudamos a reducir el uso excesivo del aire acondicionado.

En la Figura 20 podemos observar el cambio de temperatura en los espacios interiores con las estrategias bioclimáticas implementadas. Por su parte, en la Figura 21 observamos que no cuenta con estrategias y, por ende, tiene mucha más temperatura interna; cuando se agrega la protección solar (Figura 22), vemos el cambio de color en los espacios analizados. Esta simulación se realizó con *Design Builder*, y cabe recalcar que el tercer nivel no tiene aire acondicionado, mientras que el primer nivel sí, en los consultorios 3 y 4.

El consumo energético aproximado de la clínica no se consideró a partir de los recibos del servicio eléctrico, ya que no se obtuvo la información histórica. En

consecuencia, en este trabajo nos concentramos en el consumo energético por refrigeración, con el objetivo de reducir el uso excesivo de aire acondicionado. Para ello, se realizaron corridas de simulación de la clínica con y sin estrategias; como resultado, en la Tabla 6 se presentan los datos obtenidos, observándose el consumo energético por refrigeración total en kWh, energía por área total del edificio por refrigeración en kWh/m², así como el ahorro en % del consumo energético por refrigeración total.

Por medio de la simulación hicimos corridas dentro del programa y, como se observa en la Figura 23, el consumo eléctrico anual AC con estrategias en época de calor, es alto a pesar de que no entra directamente el sol al sur. El consumo energético total con estrategias al año fue de 163494.05 kWh, y en comparación al edificio sin estrategias en la Figura 24, podemos observar el consumo energético total de todo el edificio al año con más de los 320186.96 kWh, lo que representa una gran cantidad de consumo energético para el edificio sin estrategias, pero como vimos en la figura anterior, al usar estrategias de eficiencia energética redujimos 156692.9 kWh al año, un porcentaje de ahorro de 49% al año, casi la mitad y más de lo esperado (Figura 25).

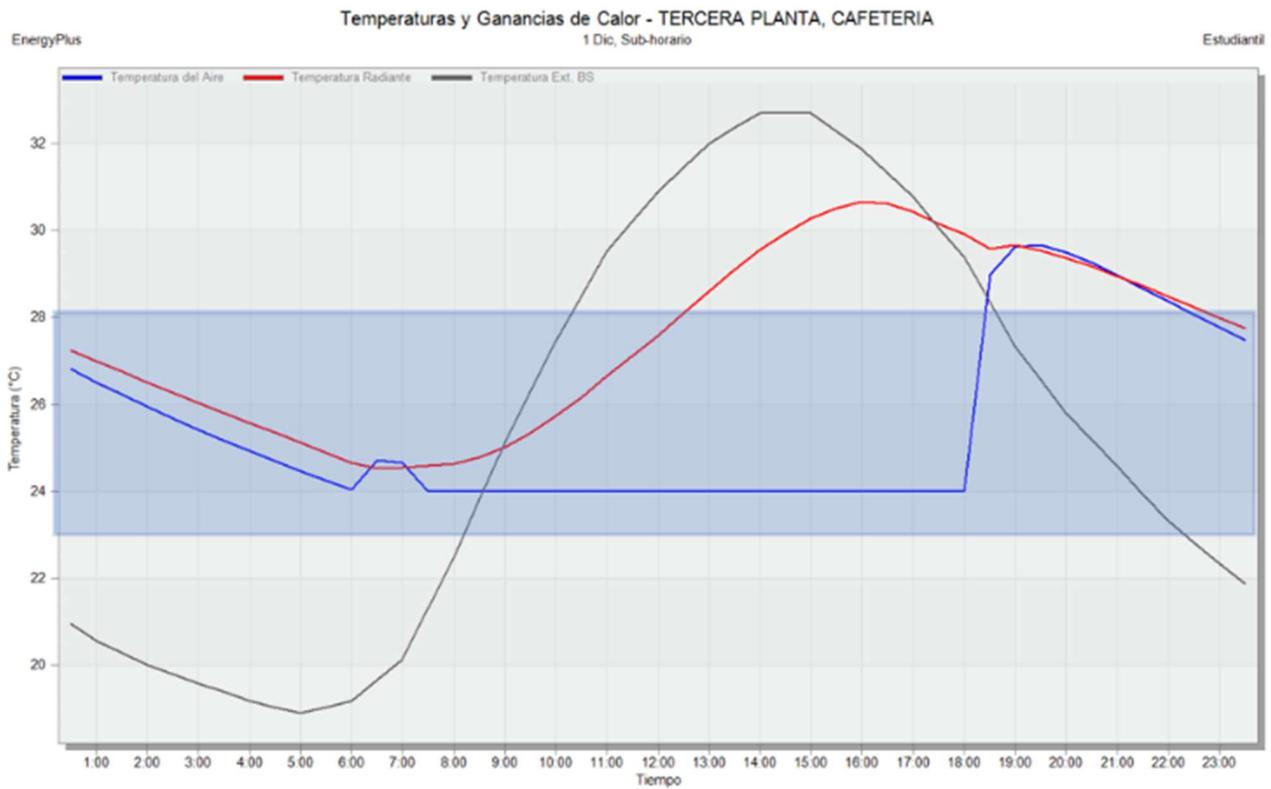


Figura 19. Temperaturas y ganancias internas de calor (cafetería). Sin estrategias. Sin AC.

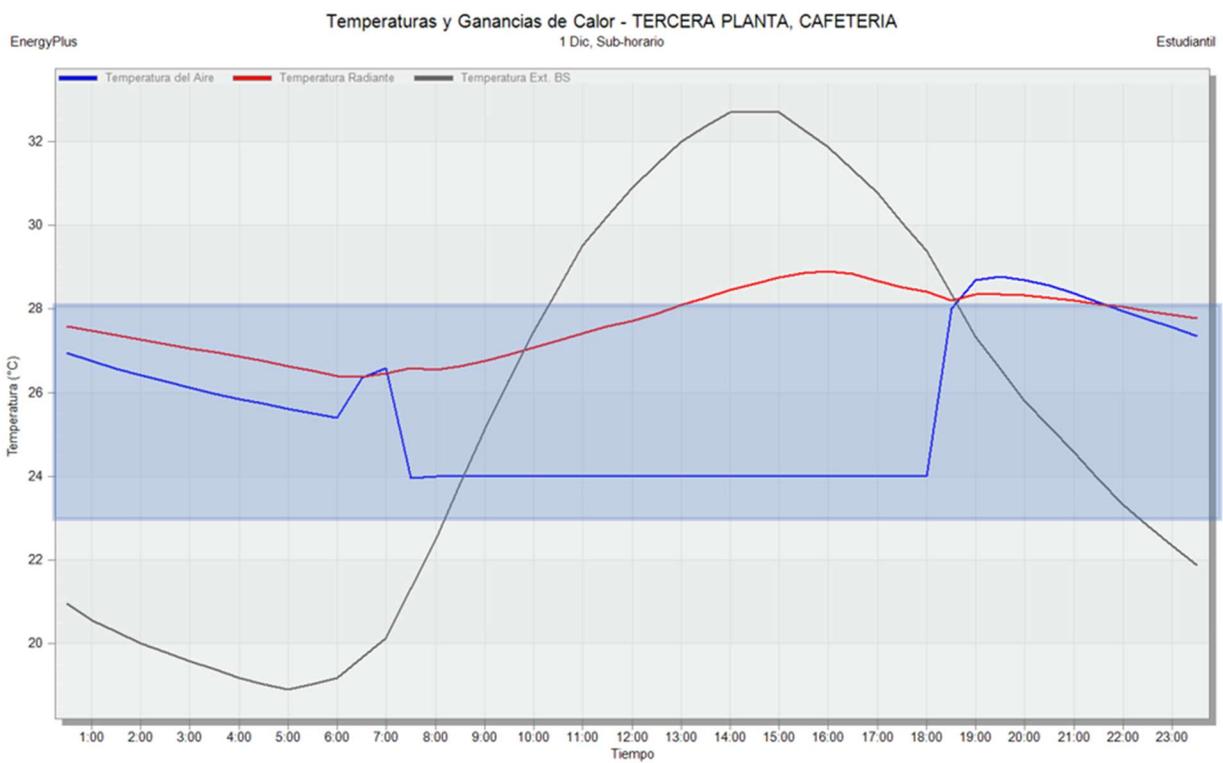


Figura 20. Temperaturas y ganancias internas de calor (cafetería). Con estrategias. Sin AC.

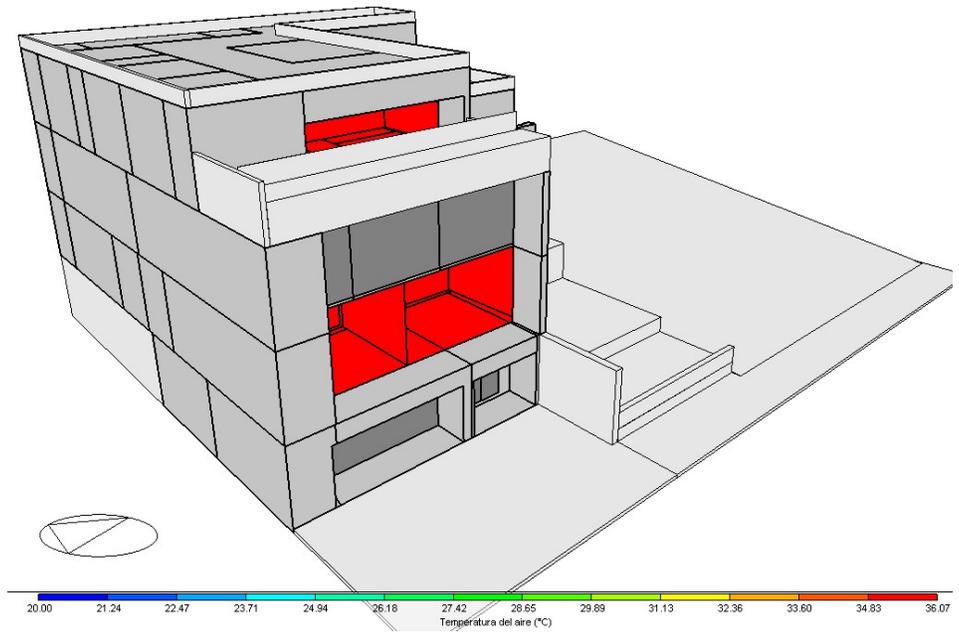


Figura 21. Temperaturas y ganancias internas de calor Clínica Crearh.

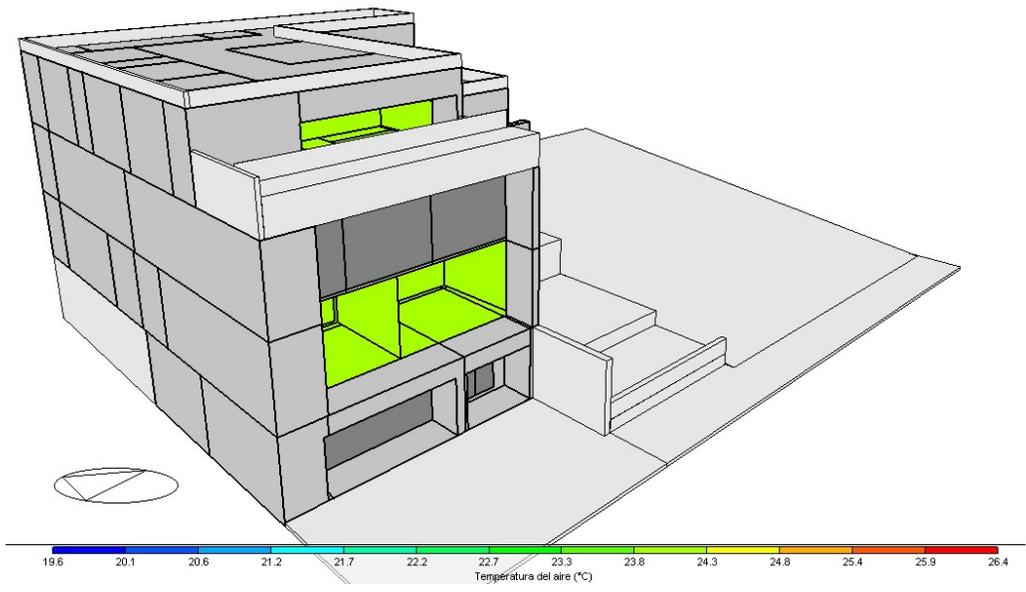


Figura 22. Temperaturas y ganancias internas de calor Clínica Crearh.

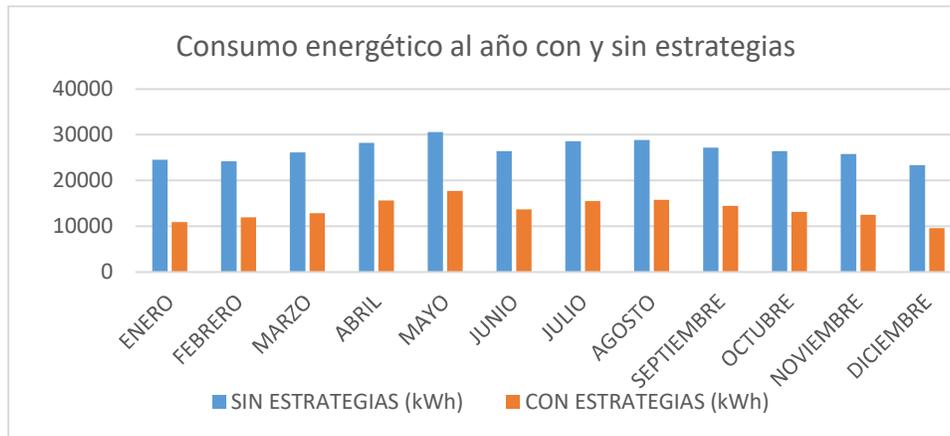


Figura 23. Consumo energético anual (kWh) con y sin estrategias.

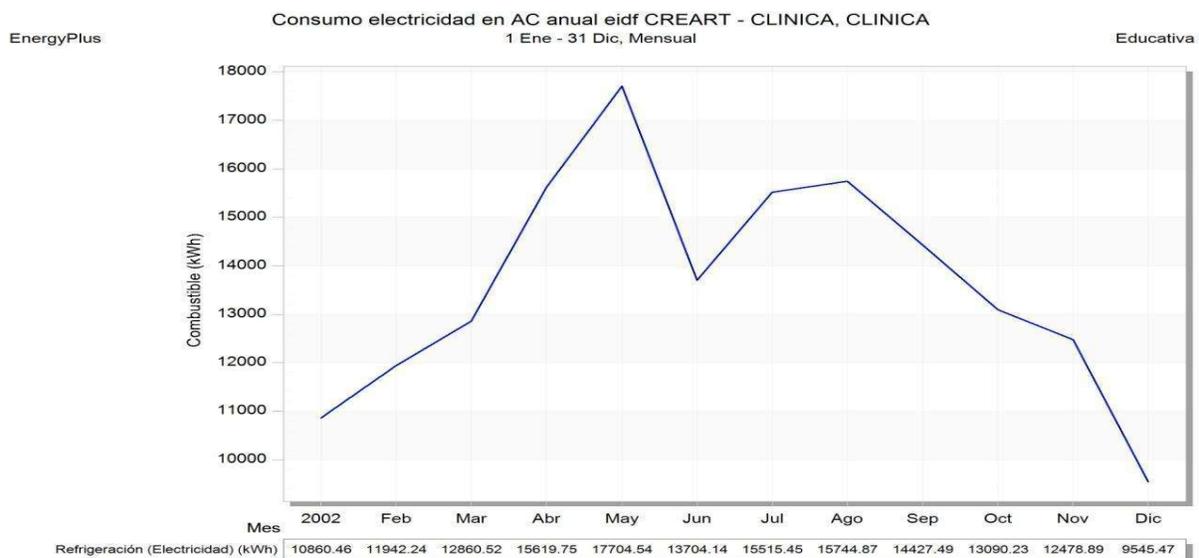


Figura 24. Consumo energético por año (kWh) con estrategias. Fuente: Elaboración en *Design Builder*.

El ahorro obtenido entre la comparación de la simulación de los modelos resultó de 49% entre la clínica con estrategias y sin estrategias, en este caso se consideró el consumo por refrigeración (Tabla 6).

6. Conclusiones

Los resultados de las evaluaciones energéticas que se presentan en este trabajo, permiten concluir que las estrategias de diseño bioclimático, tales como *Louvers* y aislamiento térmico en losa, nos ayudan a reducir las temperaturas internas del edificio de manera significativa. Por ejemplo, en el primer nivel donde se encuentran los consultorios 3 y 4, las temperaturas internas sin estrategias bioclimáticas, con mediciones

del software especializado en simulación térmica *Design Builder*, nos arrojó temperaturas internas de más de 38 °C, mientras que con la estrategia bioclimática de sombreado en ventanas con protección solar (*louver*), esta se redujo a 27 °C, es decir, más de 6 °C por espacio. Cabe recalcar que los espacios mencionados se encuentran en la fachada sur, la más crítica del edificio, lo que nos hace concluir que el uso adecuado de protección solar en ventanas, reduce de manera significativa las temperaturas interiores.

Ahora bien, al hablar de la tercera planta donde se ubica la cafetería (nuestro tercer foco de importancia en cuanto a temperaturas internas), encontramos que este espacio no tiene otro nivel que permita reducir la

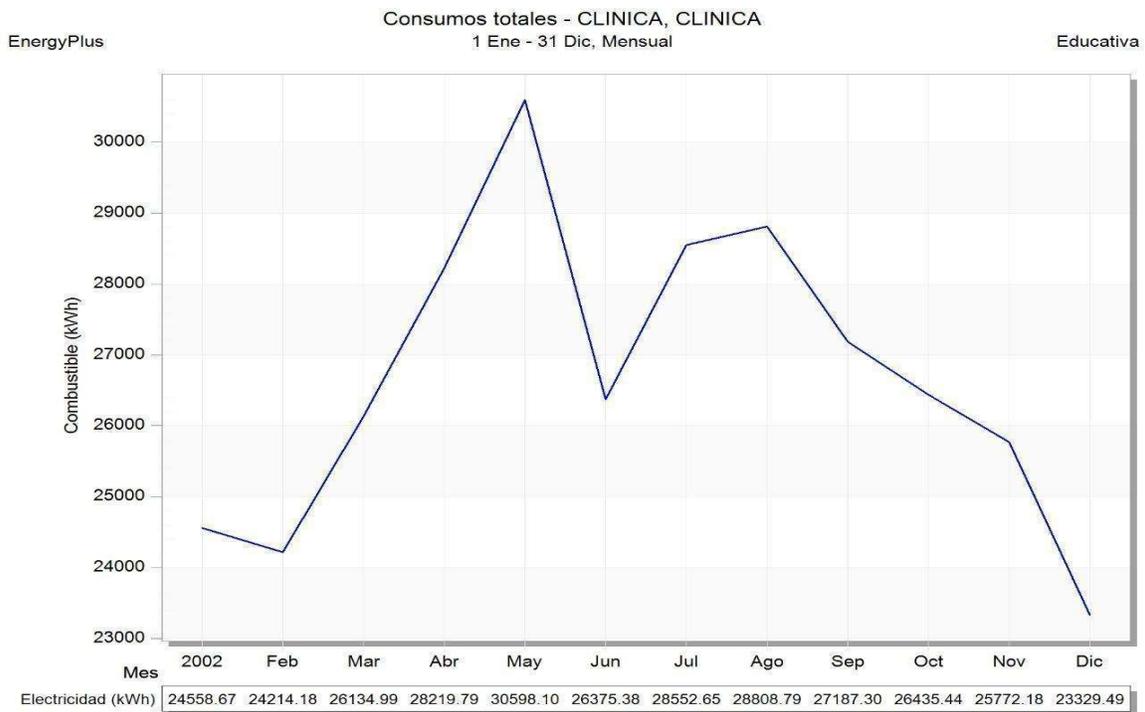


Figura 25. Consumo energético por año (kWh) sin estrategias. Fuente: Elaboración en Design Builder.

incidencia solar, por ello, nos enfocamos en el aislamiento térmico por losa para bajar la temperatura interior, la cual sin el aislamiento térmico alcanzó más de 31 °C y se logró reducir hasta los 28 °C. Cabe recalcar que la cafetería no cuenta con aire acondicionado. Es importante destacar también que al aplicar el aire acondicionado, el equipo retirará menos energía que si no se hubieran aplicado estrategias de enfriamiento o protección solar.

El consumo energético por refrigeración es un punto importante a considerar en esta evaluación, ya que la clínica estudiada tiene más de 14000 kWh al año, un consumo muy elevado, razón por la cual era de suma importancia lograr el ahorro energético, objetivo que resultó ser satisfactorio y prácticamente lo esperado.

De acuerdo a lo observado en la medición experimental, las temperaturas externas son menores a las internas, es decir, tenemos mayor temperatura dentro del edificio que fuera, por ello, es necesario aumentar el enfriamiento convectivo nocturno.

Finalmente, y coincidiendo con otros autores, es necesaria la suma de estrategias para mejorar el comportamiento térmico de una edificación, ya que, aunque no se logre el confort térmico durante todas las horas en el mes crítico, definitivamente sí se lograrían ahorros energéticos que contribuirán a lograr edificaciones más amigables con el medio ambiente, así como térmicamente confortables para las personas que lo habitan.

Se plantea una línea para dar continuidad a este trabajo, incluyendo algunas otras estrategias bioclimáticas, como enfriamiento por tubos subterráneos

Tabla 6
Consumo energético por refrigeración obtenido de la simulación.

Modelo	Consumo energético por refrigeración Total anual (kWh)	Ahorro en % del consumo energético por refrigeración Total
CLÍNICA SIN ESTRATEGIAS (CLI-SE)	320186.96 kWh	N/A
CLÍNICA CON ESTRATEGIAS (CLI-E)	163494.05 kWh	49%

para lograr mejores temperaturas internas en la clínica.

Referencias

- Becerra, R. and Riquetti, C., 2015, Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital “Vicente Corral Moscoso”: Tesis de Maestría en Energías Renovables, *Ecuador, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10931>
- Castañeda Ramírez, E.N., 2003, Propuestas para uso eficiente de energía en la red de hospitales públicos del Gran San Salvador: Tesis de Doctorado en Ingenierías, *El Salvador, Universidad de El Salvador*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2875>
- Código Técnico de la Edificación (CTE), 2010, Catálogo de elementos constructivos del CTE: *España, CTE, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción*. https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2014, Manual de un Sistema de Gestión Para la Implementación de la Energía: *México, CONUEE-Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/55467/ManualGestionEnergia_V2_1.pdf
- De Wilde, P., 2017, The concept of building performance in building performance simulation – a critical review: *San Francisco, CA, USA, Proceedings of the International Building Performance Simulation Association*, 1021-1026. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.270>
- Gómez Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G. and Ruiz Torres, R., 2007, El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados: *Palapa*, 2(1), 45-57. ISSN 1870-7483 (print). <https://www.re-dalyc.org/pdf/948/94820107.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2001, Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria: *Madrid, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Comité Español de Iluminación*. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_hospitales_01_81a4cdee.pdf
- Krstić, D., Vasov, M., Bogdanović, V., Ignjatović, M. and Randelović, D., 2019, Effect of external solar shading usage on energy consumption and thermal comfort in the student dormitory in Niš: *E3S Web of Conferences*, 111. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103050>
- López Cristlà, M., 2011, Salamanca.
- Nicol, J.F. and Humphreys, M.A., 2002, Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings: *Energy and buildings*, 34(6), 563-572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- SENER-CONUEE-GIZ, 2016, Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía, 2ª ed.: *México, CONUEE-GIZ*.
- World Energy Council, 2010, Eficiencia energética: una receta para el éxito. Resumen ejecutivo: *Londres, Reino Unido, World Energy Council*.
- World Energy Council, 2020, ISSUES MONITOR 2020: Decoding new signals of change: *London, United Kingdom, World Energy Council*.