



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA EN ENERGÍA – DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN EDIFICACIONES

ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA
DE UN HOTEL EN XOCHITEPEC, MORELOS.

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ARQ. ANA GABRIELA ÁLVAREZ ALMEIDA

TUTOR PRINCIPAL
DR. JORGE ANTONIO ROJAS MENÉNDEZ
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES- UNAM

TEMIXCO, MORELOS. NOVIEMBRE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Guadalupe Huelsz Lesbros

Secretario: Dr. Guillermo Barrios Del Valle

1 er. Vocal: Dr. Jorge Antonio Rojas Menéndez

2 do. Vocal: Dr. Pablo David Elías López

3 er. Vocal: Dr. José Manuel Ochoa De la Torre

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto de Energías Renovables-UNAM, Temixco, Morelos, México.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Jorge Antonio Rojas Menéndez

FIRMA

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo financiero durante el plan de estudios de la maestría.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindar la oportunidad de estudios académicos.

Al Instituto de Energías Renovables por su excelente aportación académica.

Al Dr. Jorge Rojas Menéndez por su dedicación y compromiso a este trabajo de investigación.

Al Dr. Guillermo Barrios del Valle por su constante apoyo y disposición.

Al Ing. Jorge Alberto Tenorio Hernández por su asesoría en módulos fotovoltaicos.

Al Dr. Víctor Hugo Gómez Espinoza por su asesoría en calentadores solares.

A mi jurado por su tiempo y colaboración.

A mis padres por hacer posible este logro académico.

A mi hermano por alentarme y guiarme.

Índice general

1. Introducción	1
2. Marco teórico	5
3. Metodología de diseño bioclimático	9
3.1. Análisis del clima	9
3.2. Estrategias bioclimáticas	16
3.2.1. Carta psicrométrica	18
3.3. Anteproyecto arquitectónico	20
3.3.1. Análisis del terreno	21
3.3.2. Programa de necesidades	22
3.3.3. Diagrama de funcionamiento	24
3.3.4. Análisis de áreas	25
3.3.5. Zonificación del conjunto	26
3.3.6. Análisis de módulos fotovoltaicos	28
3.3.7. Análisis de calentadores solares	31
3.4. Planimetría del anteproyecto arquitectónico	33
3.5. Análisis de protecciones solares	42
3.6. Análisis del sistema constructivo	45

4. Metodología del análisis térmico y lumínico	53
4.1. Metodología para análisis lumínico	56
4.2. Metodología para análisis térmico	61
4.2.1. Metodología para evaluar el análisis térmico sin uso de aire acondicionado	66
4.2.2. Metodología para evaluar el análisis térmico con uso de aire acondicionado	68
4.2.3. Metodología de análisis térmico con cargas térmicas internas	68
5. Resultados	71
5.1. Resultados lumínicos	71
5.2. Resultados térmicos	81
5.2.1. Resultados térmicos sin uso de aire acondicionado	81
5.2.2. Resultados térmicos con uso de aire acondicionado	84
5.2.3. Resultados térmicos con cargas térmicas internas.	87
5.2.4. Resultados térmicos al agregar el módulo 2 de habitaciones.	90
6. Conclusiones	93
A. Planos arquitectónicos	107

Estrategias bioclimáticas para reducir el consumo de energía de un hotel en Xochitepec, Morelos

por

Ana Gabriela Alvarez Almeida

Resumen

El diseño bioclimático en edificaciones es aquel que utiliza estrategias para conseguir el confort térmico al interior, con el menor uso de energía posible, tomando en cuenta las condiciones climáticas y recursos naturales disponibles. Las edificaciones actuales en general no están diseñadas de acuerdo al clima donde son construidas, teniendo como consecuencia grandes consumos de energía para su climatización, en su mayor parte generada por fuentes de generación que producen efectos negativos en el ambiente. Los hoteles son edificios con alto consumo de energía, utilizándola para proporcionar confort a los huéspedes, principalmente en iluminación y aire acondicionado. En este trabajo se muestra como la correcta selección y aplicación de estrategias y la adecuada selección de sistemas constructivos de la envolvente en un hotel en Xochitepec, Morelos, México, permite conseguir el confort en las habitaciones, con un bajo consumo de energía en iluminación y aire acondicionado. Adicionalmente, mediante una estimación de los consumos de energía eléctrica y de agua caliente, se determina el número de módulos fotovoltaicos y calentadores solares de agua integrados al diseño para que el hotel genere su propia energía. Este trabajo muestra que mediante el programa Climate Consultant pueden determinarse las estrategias adecuadas y protecciones solares necesarias. También se muestra que con la herramienta en línea Ener-Habitat se pueden seleccionar los materiales y sistemas constructivos de la envolvente específicos para el lugar donde se construye y para las condiciones de uso. En el desempeño térmico y lumínico del anteproyecto arquitectónico se evalúa a través de simulaciones mediante los programas de EnergyPlus y Radiance. Los resultados demuestran que el diseño propuesto permite el confort térmico al interior de las habitaciones con un bajo consumo en climatización y conseguir el confort lumínico. Realizar estudios de eficiencia energética en edificaciones en México representa una valiosa aportación ya que, debido al clima del país, las estrategias generadas en otros países no pueden ser replicadas. El diseño bioclimático puede contribuir de manera importante a mitigar el cambio climático.

Capítulo 1

Introducción

Las personas pasan más del 80 % de sus vidas dentro de las edificaciones, donde el confort térmico de los usuarios es uno de los principales parámetros para evaluar el ambiente al interior [1]. El confort térmico es la condición en la que el humano se encuentra satisfecho con el ambiente, en el cual el cuerpo se encuentra en equilibrio térmico con el ambiente. Con la revolución industrial y la invención de máquinas de aire acondicionado, se comenzó a conseguir el confort mediante dispositivos que consumen importantes cantidades de energía, principalmente eléctrica. Seguido a esto la aparición de la arquitectura internacional, la cual se caracteriza por su ortogonalidad, grandes acristalamientos, superficies lisas y materiales ligeros, ha provocado que las edificaciones tengan mayores consumos de energía al dejar de lado los estilos tradicionales y no tomar en cuenta las condiciones climáticas [1].

El sector de la edificación consume 35 % de la energía total en el mundo [2]. Generalmente producida por fuentes convencionales, las cuales son responsables de generar grandes emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo que es necesario implementar la eficiencia energética en las edificaciones, es decir, lograr las condiciones deseadas de confort al interior con el menor consumo de energía posible sin comprometer la calidad de los servicios.

Con el propósito de mejorar la eficiencia energética existe el diseño bioclimático el cual es el método para construir edificaciones considerando las condiciones climáticas locales y utilizando técnicas pasivas, las cuales no necesitan energía externa para su funcionamiento. Implica conocer las condiciones del sitio, seleccionar la mejor orientación, elegir los sistemas constructivos de la envolvente de acuerdo a si se usará o no un sistema de aire acondicionado, la ventilación natural que se requiera y elementos de protección solar cuando sean necesarios, siendo el diseño bioclimático un factor crítico para alcanzar el confort térmico, reducir el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono por el sector de las edificaciones.

Los hoteles se encuentran dentro de las edificaciones con mayor consumo energético, debido a los requerimientos de confort y servicios que ofrecen. Los hoteles son las principales edificaciones del sector del turismo, el cual se encuentra entre los sectores de negocios más grandes del mundo, se estima que provee uno de cada quince trabajos en el mundo, dando empleo a cerca de 200 millones de personas. El crecimiento de este sector va en aumento, teniendo típicamente una baja eficiencia energética [3].

En este trabajo se realiza y evalúa el diseño bioclimático de un hotel en Xochitepec, Morelos, México, el cual se pretende construir bajo las especificaciones descritas en los capítulos siguientes, con el fin de mostrar la metodología de diseño bioclimático aplicada al sector turístico, para mejorar la eficiencia energética del edificio a través del diseño de la envolvente. Este trabajo tiene como objetivo presentar un adecuado diseño bioclimático de un hotel y su evaluación a través de simulaciones. Se pretende conseguir el confort lumínico y térmico al interior de las habitaciones tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar donde se construye.

El trabajo expone la metodología de diseño bioclimático el cual se compone por un análisis de las condiciones climáticas de Xochitepec, seguido de la evaluación de las estrategias que se recomiendan para el tipo de clima, y el análisis del uso de las estrategias en la carta psi-

crométrica, estos análisis se realizan mediante el programa Climate Consultant. Se realiza la estimación de módulos fotovoltaicos y calentadores solares para su integración en el diseño. Se analiza, mediante la herramienta en línea EnerHabitat, distintos sistemas constructivos de la envolvente para elegir el sistema con mejor comportamiento térmico para el tipo de clima de Xochitepec bajo las condiciones con uso y sin uso de aire acondicionado. Con estas consideraciones se diseña el anteproyecto arquitectónico del hotel, el cual también considera el análisis del terreno, el programa necesidades, el análisis de áreas, los diagramas de funcionamiento y la zonificación. La metodología para las simulaciones comienza generando el modelo del anteproyecto en el programa OpenStudio a través de SketchUp, se utiliza el programa Radiance a través de la interfaz de OpenStudio para generar las simulaciones lumínicas, los resultados son evaluados mediante la herramienta Daylight. Las simulaciones térmicas son realizadas a través del programa EnergyPlus finalmente se evalúan los resultados bajo las condiciones de uso y no uso de aire acondicionado.

Capítulo 2

Marco teórico

El sector de edificaciones es responsable de alrededor de un tercio de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía [2]. Dentro de los consumos de energía de los edificios existe una gran preocupación debido a las cantidades de energía que consumen los hoteles, sin embargo este consumo varía debido al tamaño, categoría, zona climática, y servicios que se ofrecen. Los hoteles operan 24 horas al día, con continuas demandas de energía eléctrica y agua caliente. El comportamiento de los ocupantes representa un rol importante en el consumo, ya que estos tienden a usar más energía de la que utilizan en sus hogares, al pagar un monto fijo sin importar la cantidad de servicios que consuman. Se reporta un ejemplo de este comportamiento en un estudio donde los ocupantes colocan el termostato a 17°C en agosto para dormir con cobijas como si fuera invierno [4]. Los hoteles tienen un consumo mayor de energía que otros edificios del mismo tamaño, el consumo por aire acondicionado es 1.3 a 2 veces mayor en hoteles que en otros edificios [5]. Consumiendo en promedio anual $274.8kWh/m^2$, un consumo mayor a edificios de oficinas y locales comerciales [6].

La mayor parte del consumo de energía en hoteles se atribuye al acondicionamiento del aire, a la iluminación y a proporcionar agua caliente [7]. Se reporta en un estudio de hoteles

alrededor del mundo que el porcentaje de energía destinado al acondicionamiento de espacios se encuentra entre 32 y 57% [8]. En México se estima el uso de 42% de la energía en acondicionamiento de aire, seguido de la iluminación con 36% [3].

Con el crecimiento del sector turístico, el aumento de la población, la demanda de mayores servicios y confort, se espera un incremento alarmante en el consumo de energía de los hoteles [9]. Las emisiones de dióxido de carbono del sector turístico son generalmente producidas directamente por el uso de combustibles fósiles e indirectamente por el consumo de energía eléctrica [10]. Se reporta que, en las etapas de vida de una edificación, divididas en construcción, operación, remodelación y demolición, es la etapa de operación a la cual se le atribuye entre el 70 y 80% del uso total de energía, la que representa la principal causa de emisiones de dióxido de carbono. [11].

El diseño de hoteles nuevos muchas veces no considera estrategias de diseño de acuerdo al clima ni tecnologías para la eficiencia energética. En países en desarrollo la eficiencia energética en edificios es poco utilizada, los arquitectos, ingenieros y constructores no tienen conocimientos sobre este y los inversionistas de hoteles no son conscientes del potencial de ahorro en energía y los costos que representa. Los desarrolladores de negocios muchas veces no pueden estimar el ahorro en términos monetarios para justificar el aumento en la inversión inicial [8].

La eficiencia energética en edificaciones representan un potencial ahorro en energía, costos y emisiones, el proyecto de gestión de energía verde en el hotel Grand Hyatt Singapur redujo su consumo de energía anual por 8 millones de kWh con ahorros de \$1 millón de dólares [12].

Existen estudios para mejorar el desempeño energético en hoteles y evaluarlo a través de simulaciones numéricas con programas especializados, las cuales tienen un rol creciente para estudios de eficiencia y ahorro de energía en edificios. Un hotel en Tianjin, China es simulado en el software eQuest [13] analizando los principales consumos de energía y reduciendolos

mediante el uso de energía renovable y equipos de climatización eficientes, los resultados son verificados teniendo un consumo de energía 77.3% menor al incorporar las estrategias al hotel existente [5]. Existe un estudio que explora el potencial de ahorro de energía en un hotel en Nepal mediante el diseño bioclimático y estrategias pasivas, utilizando simulaciones en EnergyPlus [14], se desarrollan recomendaciones de diseño pasivo y optimización de la envolvente, teniendo como resultado un consumo de energía 37% menor que el diseño que no incorpora estas estrategias [8]. Un estudio en Izmir, Turquía utiliza simulaciones en eQuest para demostrar la mejora en el desempeño energético al incorporar estrategias pasivas de diseño bioclimático, reportando que las estrategias ayudan significativamente a alcanzar los objetivos de calentamiento y enfriamiento de espacios, teniendo como resultado en el edificio propuesto un consumo de energía 40% menor que un hotel convencional [6]. El uso de estrategias pasivas para reducir el consumo de energía para enfriamiento en una habitación de hotel en Grecia es analizado a través de simulaciones en el software Tas [15] reportando un 87% menor uso de energía mediante la estrategia de ventilación nocturna [4].

En la mayoría de los estudios encontrados en la literatura sobre eficiencia energética en hoteles, la transferencia de calor a través de la envolvente se analiza mediante un modelo de transferencia de calor independiente del tiempo, teniendo como resultado el uso de aislamiento térmico en los sistemas constructivos, con mejores resultados al aumentar el espesor aislante, es decir aumentar la resistencia térmica. En los países donde la variación de la temperatura exterior es pequeña a lo largo del día en comparación a la diferencia entre esta y la temperatura a la que se desea acondicionar la edificación y además las ganancias de calor por la energía solar no varía apreciablemente durante el día, es posible utilizar un análisis de transferencia de calor independiente del tiempo, obteniendo resultados aceptables. Debido a esto y a que este modelo de transferencia de calor simplifica el método de cálculo, en distintos países se utiliza para establecer las normas y reglamentos de edificación. Sin embargo, estudios realizados

muestran que el modelo de transferencia de calor independiente del tiempo es inadecuado para el clima de México, en donde la temperatura exterior oscila de manera significativa a lo largo del día además de importantes ganancias de calor por la energía solar. Por lo que se recomienda un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en el cual el aumentar la resistencia térmica mediante el uso de aislantes térmicos en la envolvente no siempre implica mejorar el comportamiento térmico de una edificación [16].

Este trabajo presenta el diseño bioclimático de un hotel en Xochitepec, Morelos, México, donde la transferencia de calor en la envolvente se realiza con un modelo dependiente del tiempo. Como resultado se espera conseguir el confort térmico y lumínico de las habitaciones con el menor consumo de energía posible y con ello reducir su impacto ambiental.

Capítulo 3

Metodología de diseño bioclimático

En este capítulo se presenta la metodología de diseño bioclimática aplicada a una edificación turística con el fin de que la edificación se construya de acuerdo al clima en donde se ubica. Se comienza con el análisis del clima, seguido por las estrategias bioclimáticas sugeridas para el tipo de clima de Xochitepec y su análisis mediante la carta psicrométrica. Se realiza el análisis del terreno, el programa de necesidades, el diagrama de funcionamiento y la zonificación. Se realiza el dimensionamiento de módulos fotovoltaicos y calentadores solares estimados para incorporarlos al diseño. Con la información generada se expone la propuesta del anteproyecto arquitectónico. Finalmente se realiza el análisis de la protección solar que generan los aleros y la elección del sistema constructivo.

3.1. Análisis del clima

El proyecto se ubica en Xochitepec, Morelos, México, localizado a una latitud de 18.85° norte y longitud de 99.34° oeste, con una altitud de 1,280 metros sobre el nivel del mar. El tipo de clima se categoriza como cálido semi-húmedo en la clasificación de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) [17]. Se utiliza el programa Climate Consultant 6.0 [18],

utilizando los datos de un año típico generado en el programa Meteonorm [19] para realizar el análisis del clima local y con base en el código de edificación de vivienda de la CONAVI [17], se consideran las estrategias bioclimáticas adecuadas para este proyecto.

- Temperatura ambiente de bulbo seco

En la figura 3-1, se muestra la temperatura media mensual y los promedios mensuales de las temperaturas máxima y mínima diaria y se marca la temperatura máxima y mínima alcanzada en cada mes. La temperatura media mensual se encuentra entre los 21 y 27 °C durante todo el año, encontrándose dentro de la zona de confort adaptativo del modelo de ASHRAE 55-2010 [20]. Los meses críticos son marzo, abril y mayo, los cuales presentan las temperaturas medias mensuales más altas, de 25, 26 y 27°C respectivamente y en los cuales se reportan temperaturas máximas registradas de 36°C. Los meses con menor temperatura media mensual son enero y diciembre con 21°C, con una temperatura mínima histórica registrada de 10°C en el mes de enero.

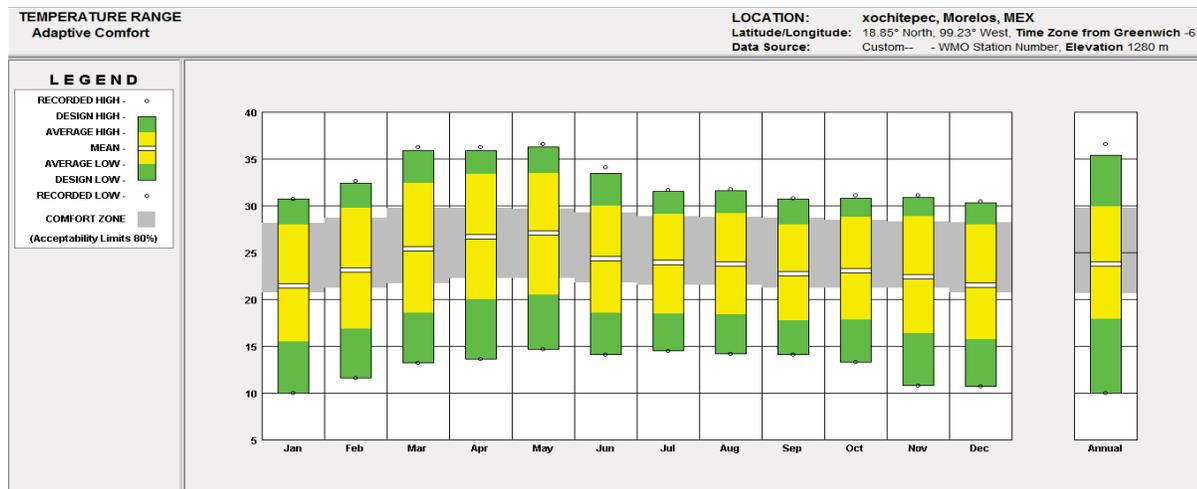


Figura 3-1: Temperatura media mensual de bulbo seco en °C. Blanco: temperatura media mensual. Amarillo: temperatura promedio máxima y mínima. Verde: temperatura máxima y mínima alcanzada. Gris: rango de temperatura de confort adaptativo ASHRAE 55-2010 [20]. Punto: temperatura mínima y máxima histórica registrada.

- Humedad relativa del ambiente

En la figura 3-2, se muestra la variación de la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco durante el día promedio de cada mes. En los meses de marzo, abril y mayo, en los que se presenta el mayor aumento de temperatura después de la 12:00 h y hasta las 20:00 h con temperatura máximas de 30°C, la humedad relativa se encuentra entre el 30 y 20%.

Se observa que la temperatura de bulbo seco se encuentra por debajo de los 20°C entre las 4:00 h y las 8:00 h en todos los meses, siendo posible aplicar la estrategia de ventilación nocturna.

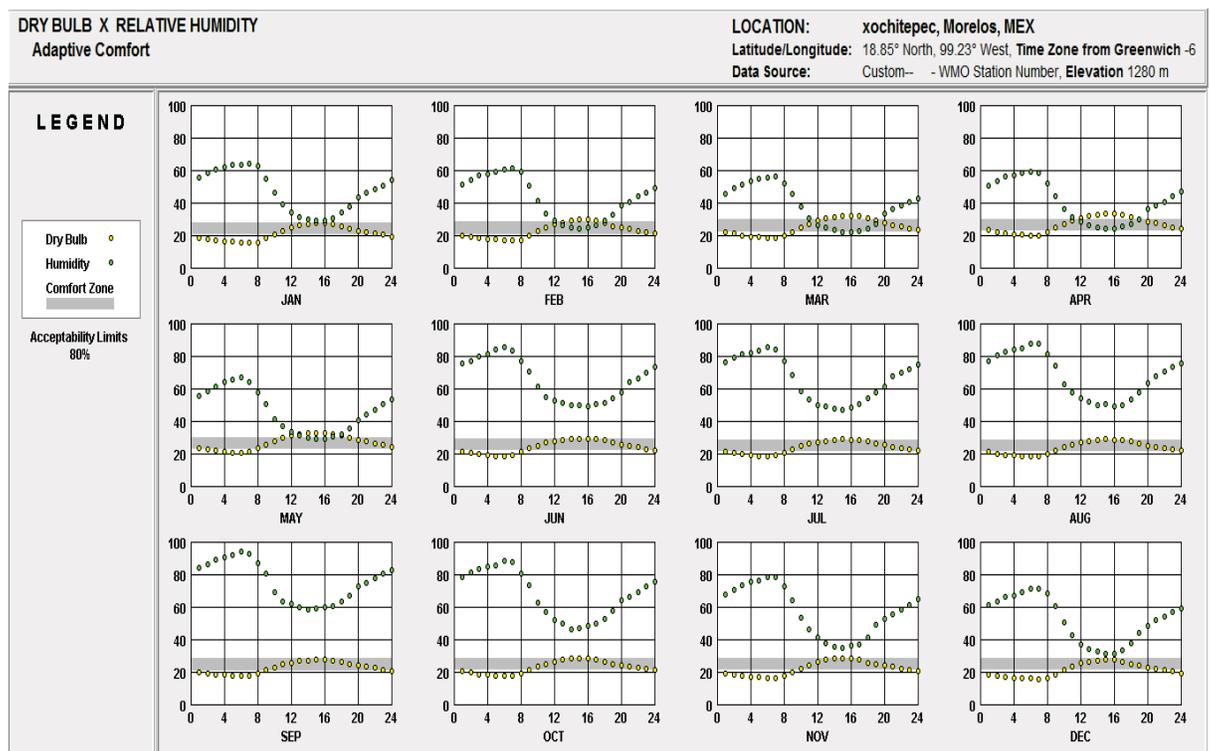


Figura 3-2: Humedad relativa y temperatura de bulbo seco durante el día promedio de cada mes. Puntos amarillos: temperatura de bulbo seco en °C. Puntos verdes: humedad relativa en %. Gris: rango de temperatura de confort adaptativo ASHRAE 55-2010 [20] en °C.

- Radiación solar

En la figura 3-3, se muestra la radiación global, la normal directa y la difusa promedio horaria del día típico de cada mes. El mes con mayor radiación es abril con $800 \text{ Wh}/m^2$ a medio día. Durante todo el año la radiación promedio horaria máxima se encuentra entre 600 y $800 \text{ Wh}/m^2$, por lo que se recomienda el uso de protección solar.

- Temperatura de bulbo húmedo del ambiente

En la figura 3-3, se muestra la variación de la temperatura de bulbo húmedo del día promedio de cada mes. La temperatura promedio horaria se encuentra entre 14 y 21°C durante todo el año. Teniendo sus máximos valores en los meses de junio hasta septiembre.

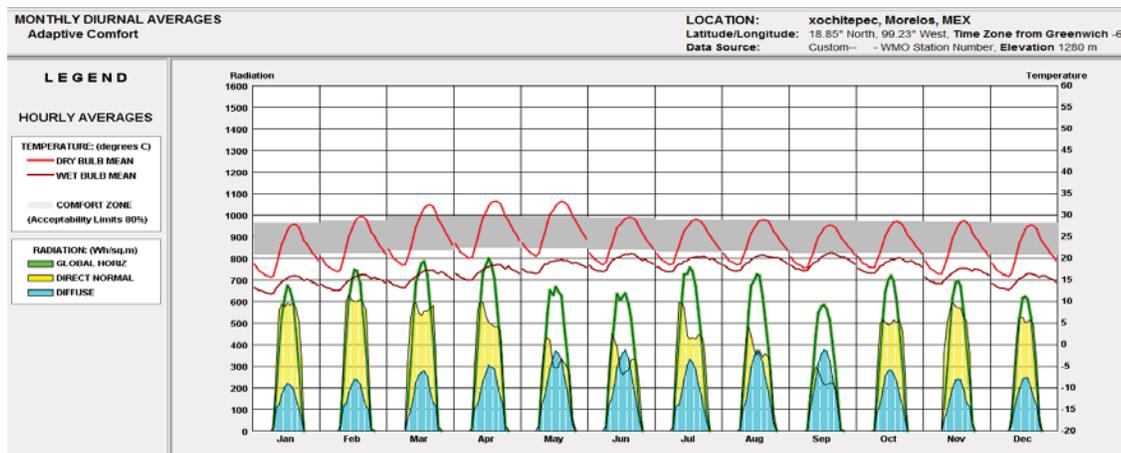


Figura 3-3: Radiación solar y temperatura de bulbo húmedo promedio diaria. Línea verde: radiación global horizontal en Wh/m^2 . Amarillo: radiación directa normal en Wh/m^2 . Azul: radiación difusa en Wh/m^2 . Línea roja: temperatura de bulbo húmedo en $^\circ\text{C}$. Línea marrón: temperatura de bulbo húmedo en $^\circ\text{C}$.

- Velocidad y dirección del viento.

En la figura 3-4 se muestra la velocidad y dirección del viento. Se observa que la mayor parte del año los viento provienen del suroeste, representado por los trapecios de mayor tamaño ubicados en el perímetro exterior del círculo, con una velocidad media de 1 m/s, representada por los triángulos naranja claro, alcanzando velocidades máximas promedio de 6 m/s, representadas por los triángulos naranja.

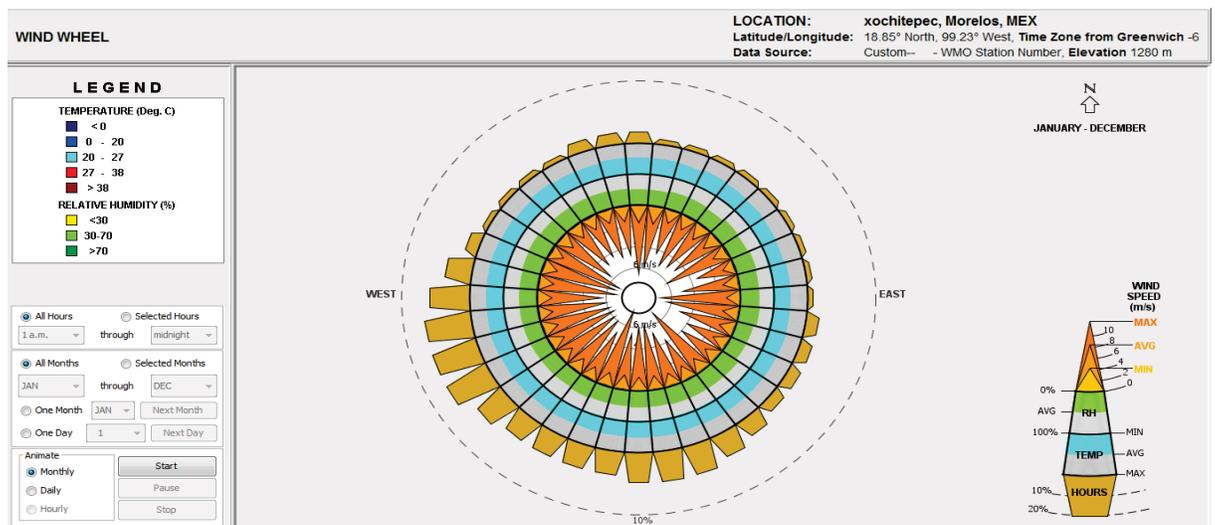


Figura 3-4: Gráfica de velocidad y dirección del viento. Trapecios en el perímetro exterior: porcentaje de horas del año. Triángulos naranja claro: velocidad promedio anual en m/s. Triángulos naranja: velocidad máxima promedio anual en m/s.

- Gráfica solar

En la figura 3-5 se muestra la gráfica solar con las recomendaciones de sombreado para los meses de diciembre a junio, los puntos representan cada hora del día típico de cada mes, los puntos en color rojo presentan temperaturas mayores a 24°C, los amarillos temperaturas mayores a 20°C y los azules temperaturas menores a 20°C. Se observa que la mayor parte de este periodo la temperatura se encuentra por arriba de los 24°C, representado por los puntos rojos, condición en que el sombreado es necesario. Se observa en la mañana, antes de las 9:00 h de la mañana en diciembre, enero y febrero y antes de las 7:00 h para los meses de marzo, abril, mayo y junio, temperaturas menores a los 20°C, representado por los puntos azules, condición para la cual es necesaria la radiación solar global.

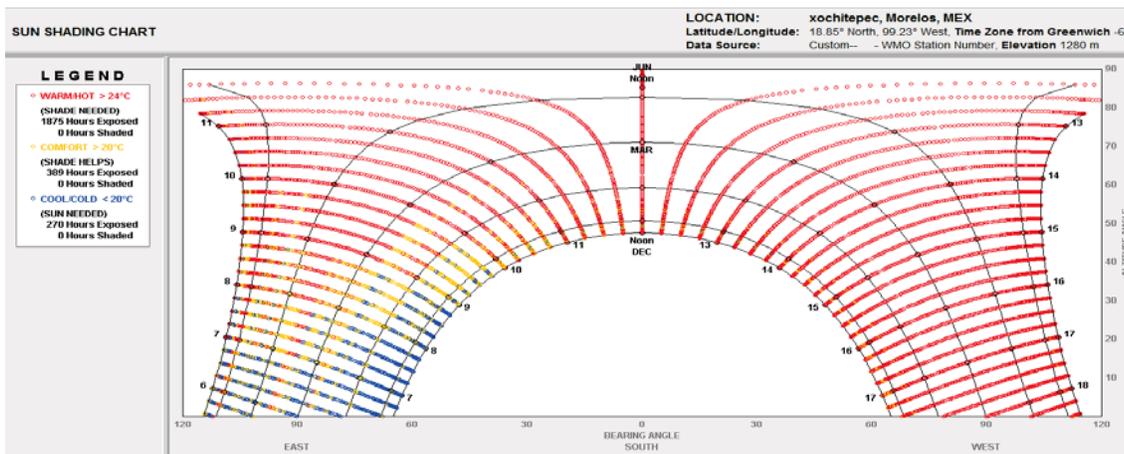


Figura 3-5: Gráfica de sombreado. Líneas: meses de diciembre, enero a junio. Puntos rojos: temperatura mayor a 24°C con necesidad de sombreado. Puntos naranjas: temperatura mayor a 20°C con sombreado recomendado. Puntos azules: temperatura menor a 20°C con necesidad de radiación solar.

En la figura 3-6 se muestra la gráfica solar para los meses de junio a diciembre, se observa que a partir de las 10:00 h la temperatura es mayor a 24°C con la necesidad de sombreado. Presentando temperaturas menores a los 20°C, representadas por los puntos azules, con necesidad de radiación solar global antes de las 8:00 h.

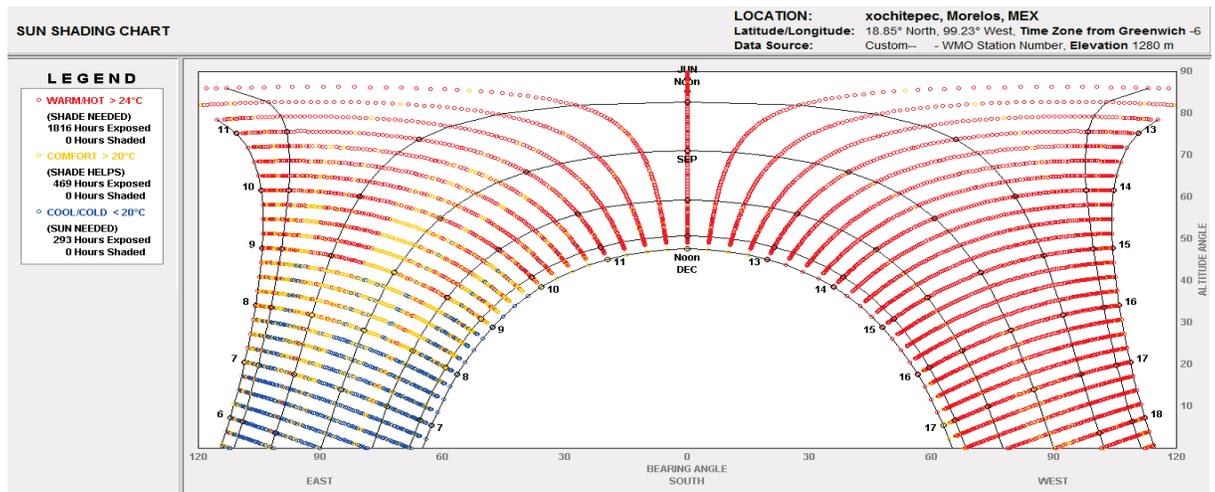


Figura 3-6: Gráfica de sombreado. Líneas: meses de junio a diciembre. Puntos rojos: temperatura mayor a 24°C con necesidad de sombreado. Puntos naranjas: temperatura mayor a 20°C con sombreado recomendado. Puntos azules: temperatura menor a 20°C con necesidad de radiación solar.

- Gráfica solar estereográfica

En la figura 3-7, se muestra la gráfica solar estereográfica de Xochitepec obtenida del programa HELIODON 2 [21]. En los meses de mayo, junio y julio, desde que amanece hasta la puesta del sol, se tiene incidencia solar en la fachada norte. En los meses de diciembre hasta marzo y septiembre hasta noviembre el sol incide sobre la fachada sur desde que amanece hasta que atardece. En abril y agosto la incidencia solar es sobre la fachada norte por la mañana desde que amanece hasta las 8:00 h, incidiendo en la fachada sur desde las 8:00 h hasta las 16:00 h, después de esta hora incide en la fachada norte hasta que se oculta el sol. El sol incide sobre la fachada este desde que amanece hasta mediodía durante todos los meses del año. El sol incide sobre la fachada oeste desde el mediodía hasta que se oculta durante todos los meses del año.

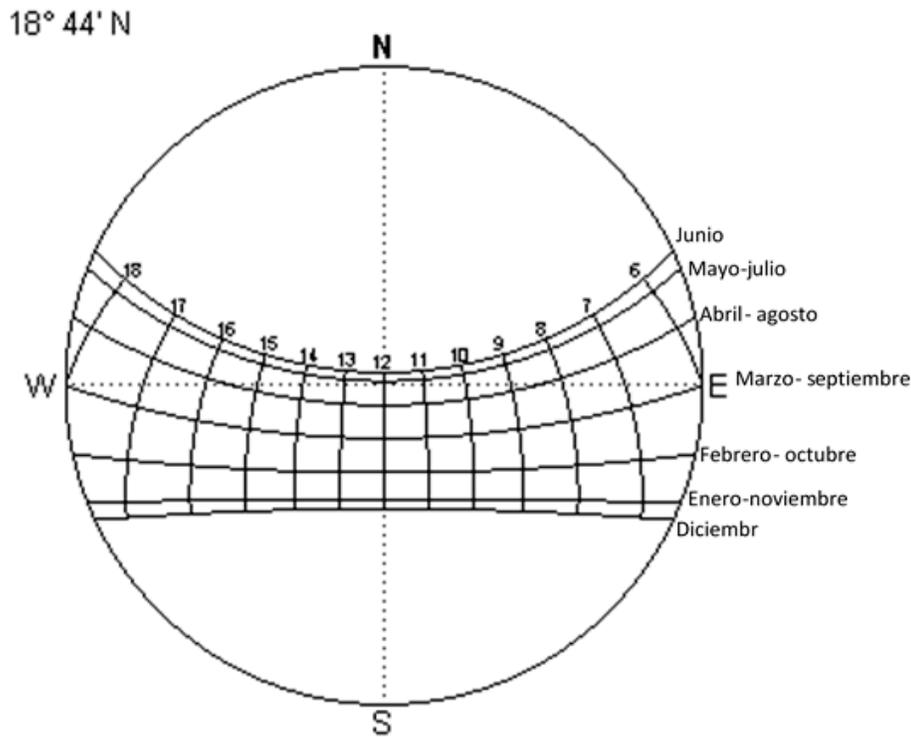


Figura 3-7: Gráfica estereográfica de Xochitepec, Morelos. HELIODON 2 [21].

3.2. Estrategias bioclimáticas

Las estrategias bioclimáticas se proponen con base al análisis del clima y las sugeridas por el Código de edificación de vivienda de la CONAVI [17]. Como se observa en la figura 3-3, la radiación solar es alta durante todos los meses del año. Los meses críticos son marzo, abril y mayo debido a altas temperaturas, por lo que en estos meses es de gran importancia evitar ganancias de radiación solar.

- Diseño del conjunto.

Para el diseño del conjunto se debe considerar andadores sombreados entre las edificaciones. El conjunto debe estar separado de las colindancias para permitir el paso del aire, con una configuración alargada hacia el eje norte-sur. El techo debe contar con pendiente y en caso de ser plano, tener las salidas de agua adecuadas. La altura de piso a techo debe ser 2.5m como mínimo.

- Orientación.

La orientación es de gran importancia para evitar ganancias solares ya que determinará la incidencia solar sobre las fachadas. Se observa en la gráfica solar estereográfica de la figura 3-7, que el sol incide sobre las superficies este y oeste todos los días del año, por lo que estas orientaciones deben ser las fachadas más cortas debido al tipo de clima. Por esta razón también deben evitarse las ventanas al este y al oeste.

- Protecciones solares.

Para evitar ganancias de radiación solar, se deben colocar protecciones solares en todas las ventanas.

- Ventilación natural.

La ventilación natural debe ser a través de ventanas con protecciones solares. Las ventanas y puertas deben encontrarse en lados opuestos para facilitar la ventilación cruzada y procurar aumentar la distancia en altura entre la entrada del aire y la salida.

- Materiales y acabados.

Los techos y muros deben contar con alta masa térmica. Los colores exteriores de la envolvente deben ser claros, de alta reflectancia solar.

3.2.1. Carta psicrométrica

Se utiliza la carta psicrométrica con el modelo de confort ASHRAE 2005 [22] en el programa Climate Consultant 6.0 [18] para evaluar el uso de estrategias bioclimáticas. En la figura 3-8 se muestra la carta psicrométrica para Xochitepec, en la cual cada punto representa una hora del año ubicado en la carta psicrométrica según sus condiciones de temperatura y humedad. Se muestra el porcentaje de horas en que el ambiente al interior se encuentra dentro del rango de confort, así como el porcentaje de horas que se encuentra fuera de este.

En la figura 3-8 se observa que el ambiente al interior se encuentra confortable 2967 horas de las 8760 horas del año, esto es el 34% de las horas del año dentro de las condiciones de confort y 66% fuera de este, sin aplicar ninguna estrategia bioclimática.

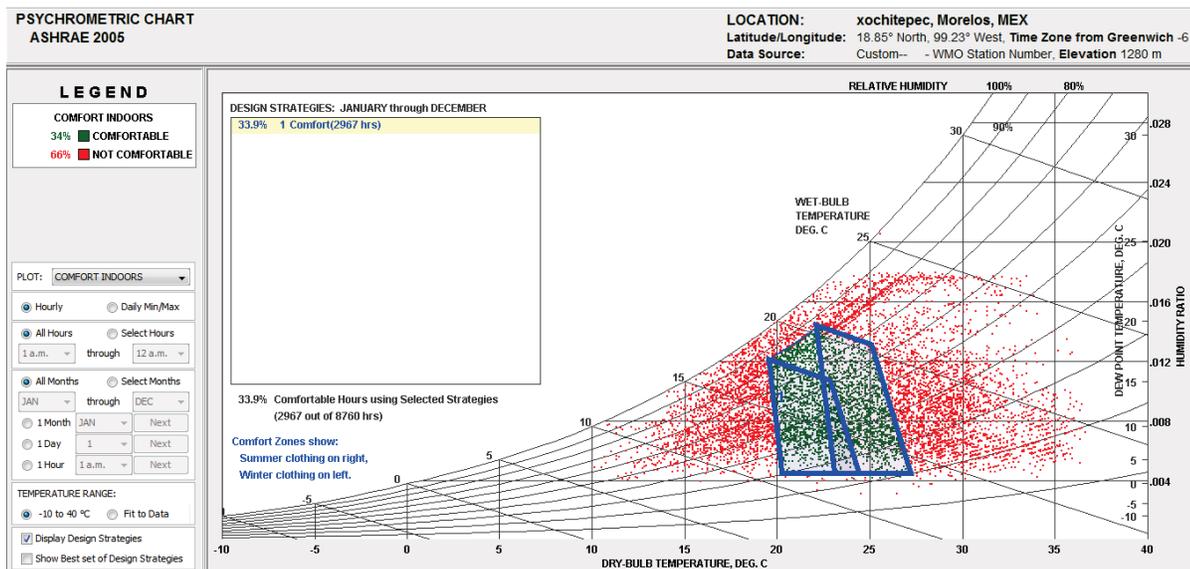


Figura 3-8: Figura 10: Carta psicrométrica para Xochitepec. Eje horizontal: temperatura de bulbo seco en °C. Eje vertical razón de humedad kg/kg. Líneas curvas: humedad relativa en %. Puntos verdes: en condiciones de confort. Puntos rojos: fuera de las condiciones de confort. Línea azul: Zona de confort.

Se evalúa el uso de las estrategias bioclimáticas para mejorar las condiciones de confort. En la figura 3-9 se muestra que, al aplicar las estrategias de protección solar en las ventanas, uso de alta masa térmica, ventilación natural, ventilación forzada por ventilador, ganancias internas de calor y ganancias solares pasivas, el porcentaje de horas que el interior se encuentra en las condiciones de confort aumenta a 89 %, estando 7794 horas de las 8760 horas del año en condiciones de confort.

Utilizando las mismas estrategias y aplicando aire acondicionado de enfriamiento, se muestra en la figura 3-10 que el porcentaje de horas de confort aumenta a 98 %, 8570 horas de las 8760 horas del año en condiciones de confort. Se observa que el aire acondicionado de enfriamiento es utilizado 8.9% de horas del 98% de horas en condiciones de confort.

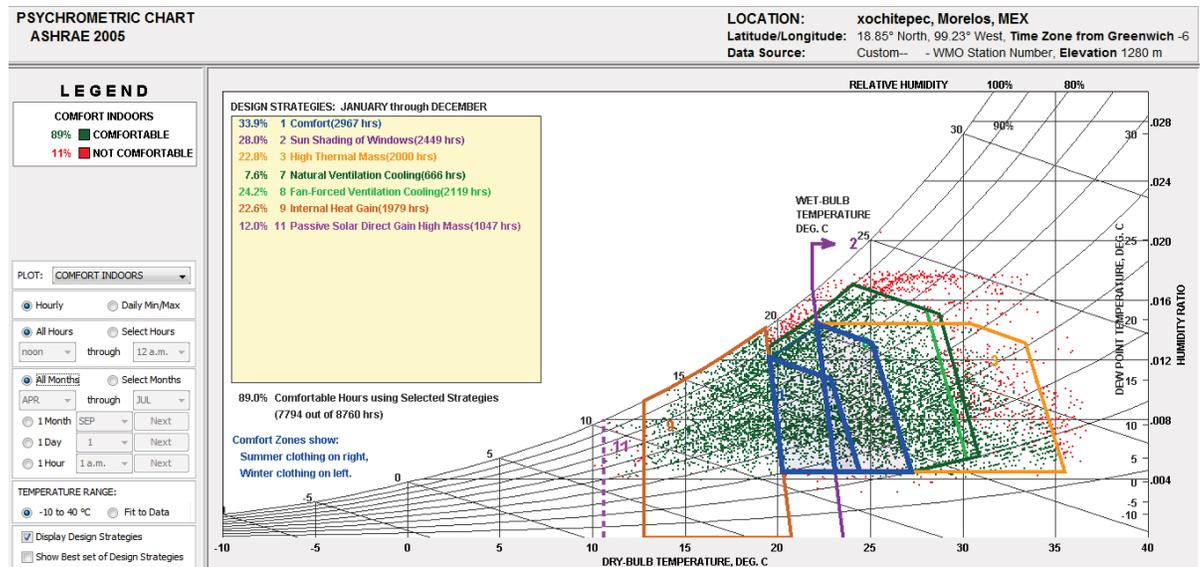


Figura 3-9: Carta psicrométrica para Xochitepec con estrategias. Eje horizontal: temperatura de bulbo seco en °C. Eje vertical razón de humedad kg/kg. Líneas curvas: humedad relativa en %. Puntos verdes: en condiciones de confort. Puntos rojos: fuera de las condiciones de confort. Línea azul: zona de confort. Línea morada: protección solar en ventanas. Línea naranja: alta masa térmica. Línea verde oscuro: ventilación natural. Línea verde claro: ventilación forzada por ventilador. Línea café: Ganancias de calor internas. Línea lila: ganancias de calor por solar pasivas.

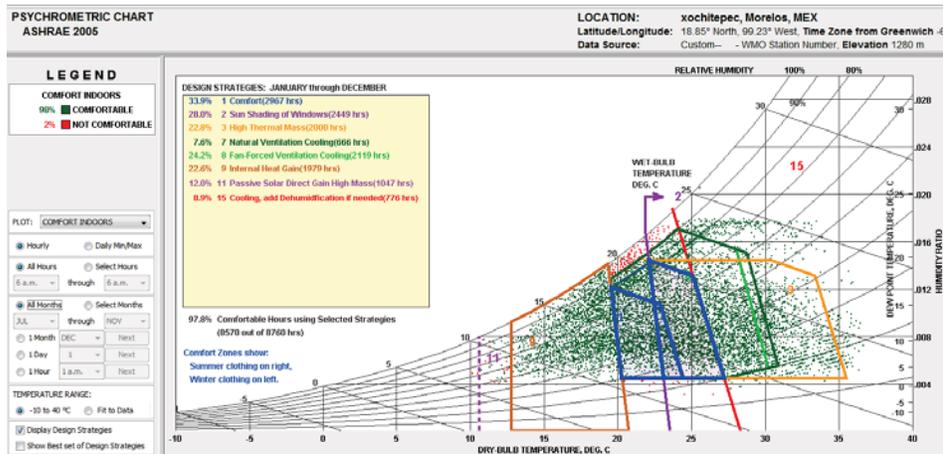


Figura 3-10: Carta psicrométrica para Xochitepec con estrategias y aire acondicionado de enfriamiento. Eje horizontal: temperatura de bulbo seco en °C. Eje vertical razón de humedad kg/kg. Líneas curvas: humedad relativa en %. Puntos verdes: en condiciones de confort. Puntos rojos: fuera de las condiciones de confort. Línea azul: zona de confort. Línea morada: protección solar en ventanas. Línea naranja: alta masa térmica. Línea verde oscuro: ventilación natural. Línea verde claro: ventilación forzada por ventilador. Línea café: Ganancias de calor internas. Línea lila: ganancias de calor por solar pasivas. Línea roja: aire acondicionado enfriamiento.

3.3. Anteproyecto arquitectónico

El anteproyecto arquitectónico es realizado tomando en cuenta el análisis de clima y las estrategias bioclimáticas planteadas en los apartados anteriores. Se comienza con el análisis del terreno en donde se ubica el proyecto. Se realiza el programa de necesidades con base en los requerimientos del propietario, seguido del diagrama de funcionamiento el cual indica las relaciones entre las principales áreas del proyecto. Se realiza el análisis de áreas para conocer el espacio aproximado que requiere cada una y con esto realizar la zonificación para ubicar las áreas dentro del terreno. Se realiza el dimensionamiento de módulos fotovoltaicos y calentadores solares de agua. Con la información generada se presentan el anteproyecto arquitectónico, finalizando con el análisis de las protecciones solares y sistemas constructivos para los muros de la envolvente.

3.3.1. Análisis del terreno

El terreno se encuentra en Xochitepec, Morelos, sobre la carretera Aeropuerto-Cuernavaca Siglo XXI, pasando el cruce con la carretera Tejalpa-Zacatepec rumbo a la cementera Moctezuma, mostrado en la figura 3-11. El terreno cuenta con un área de $20,000 m^2$. En la figura 3-12 se muestra el plano de las condiciones del terreno, este se encuentra delimitado por un muro perimetral y existen dos puertas de acceso, una en cada extremo de la colindancia con la carretera. Las demás colindancias son con terrenos sin construcciones. Dentro del terreno, a lo largo de la colindancia orientada al este pasa un canal de riego y en la esquina oeste del terreno se encuentra un lago artificial. Existen dos caminos que parten de los accesos, los cuales se planea respetar y aprovechar. Dentro del terreno se encuentra un invernadero, cuya estructura se utilizará para estacionamiento, en la esquina sur del terreno se encuentra una construcción de una vivienda de una habitación y en la esquina noreste existe una construcción donde habitan los vigilantes. El terreno no presenta ningún desnivel. Los árboles que existen dentro del terreno se encuentran cerca de las colindancias.



Figura 3-11: Ubicación del terreno. Rojo: terreno donde se ubica el proyecto. Imagen de Google Maps.

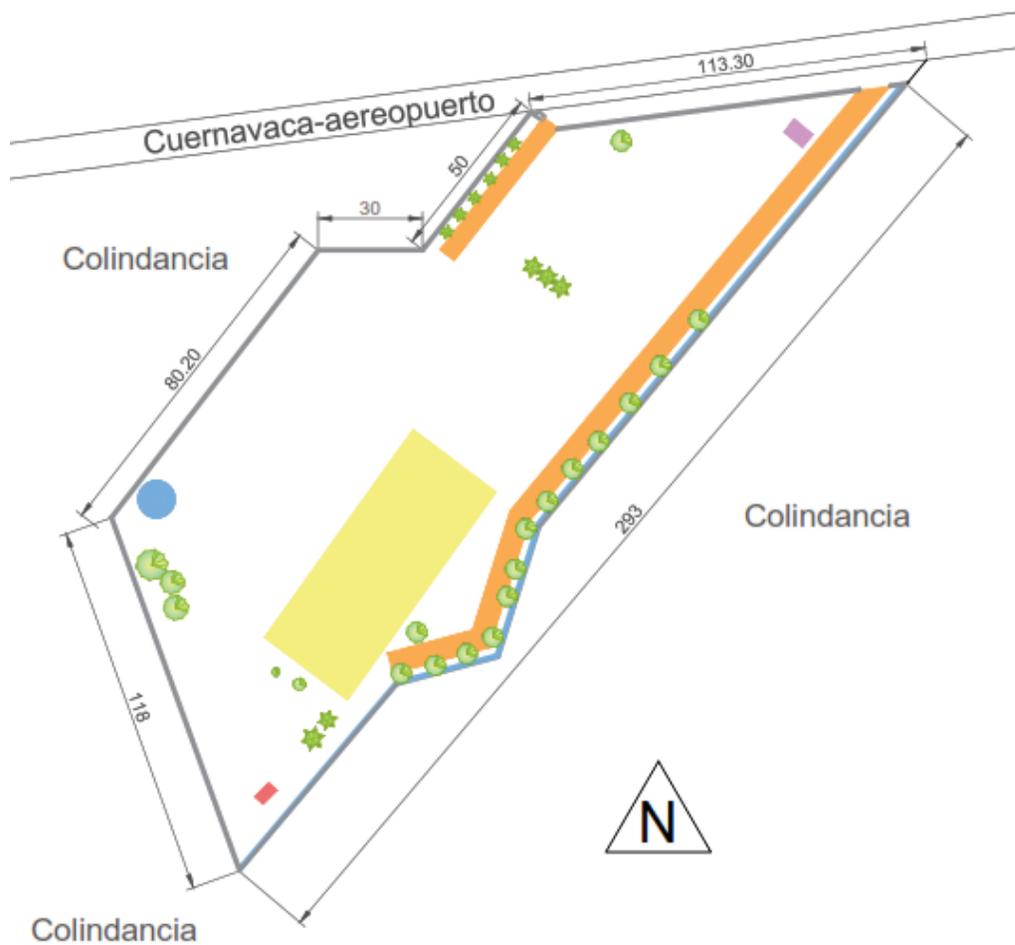


Figura 3-12: Análisis del terreno. Línea gris muro perimetral. Línea azul: canal de riego. Círculo azul: lago artificial. Amarillo: invernadero. Naranja: caminos. Rosa: vivienda. Morado: vivienda de vigilantes. Verde: árboles. Medidas en metros.

3.3.2. Programa de necesidades

El proyecto se compone por las áreas de salón de eventos, jardín de eventos, hospedaje, administración y servicios. Se toman en cuenta todas las áreas para realizar la planta de conjunto, sin embargo, este trabajo se centra en análisis del área de hospedaje. Según los requerimientos del propietario se seguirá el siguiente programa de necesidades:

- Acceso.

- Estacionamiento.
 - Estacionamiento para huéspedes.
 - Estacionamiento para eventos.

- Hospedaje.
 - 3 módulos, cada uno con 8 habitaciones, 4 en planta baja y 4 en planta alta.
 - Baño privado y closet en cada habitación.

- Administración y servicios.
 - Recepción.
 - Baños para hombres y mujeres.
 - Oficina.
 - Primeros auxilios.
 - Baño vestidor de empleados.
 - Lavandería.
 - Área de lavado y planchado.
 - Área de secado.

- Alberca.

- Salón de eventos.

- Jardín de eventos.

3.3.3. Diagrama de funcionamiento

El diagrama de funcionamiento se realiza con base al programa arquitectónico, este diagrama permite conocer las relaciones entre las áreas principales de acceso, estacionamiento, salón de eventos, jardín de eventos, hospedaje, administración y servicios, figura 3-13. Se realiza el diagrama de funcionamiento por local, en el cual se indican las relaciones entre locales dentro de las áreas principales, figura 3-14.

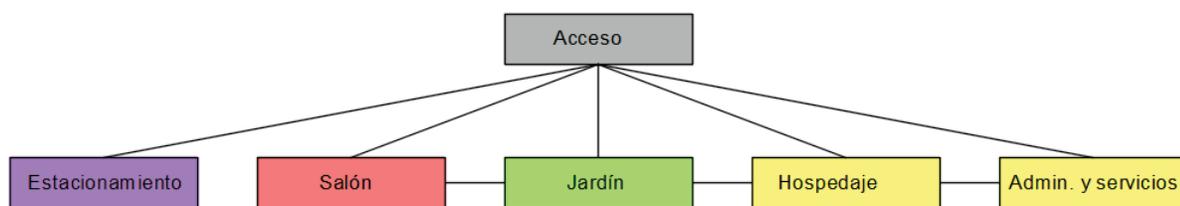


Figura 3-13: Diagrama de funcionamiento de áreas. Las líneas indican áreas que deben estar relacionadas.

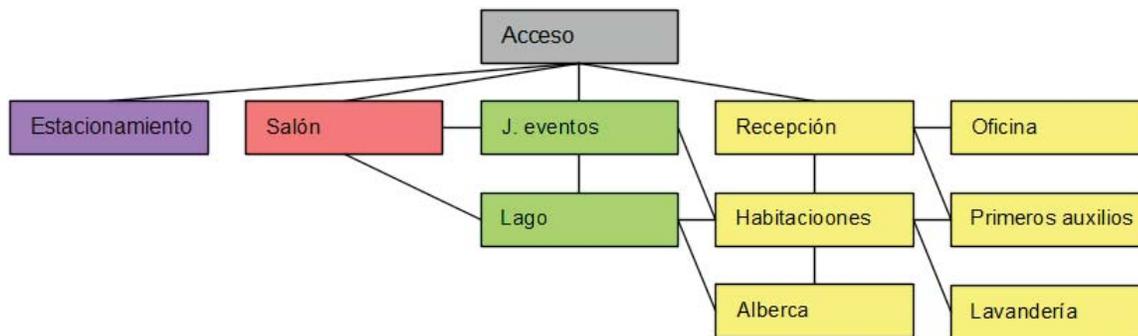


Figura 3-14: Diagrama de funcionamiento por local. Morado: locales del área de estacionamiento. Rosa: locales del área de salón de eventos. Verde: locales del área de jardín de eventos. Amarillo: locales de hospedaje, administración y servicios.

3.3.4. Análisis de áreas

Se realiza el análisis de áreas el cual permite conocer las dimensiones aproximadas de estas, para ubicarlas en el terreno con el espacio aproximado que se requiere. Este análisis se realiza de acuerdo a las medidas y disposiciones determinadas por el Reglamento de Construcción del Municipio de Xochitepec, Morelos [23] y con base a medidas estándar de mobiliario [24], tabla 3-1.

Tabla 3-1: Análisis de áreas

Área	Local	Área (m^2)	N. locales	Total
Estacionamiento				
	Estacionamiento para huéspedes	900	1	
	Estacionamiento para eventos	800	1	
				1700
Hospedaje				
	Habitación	25	12	
	Baño de habitación	12	12	
				444
Administración y servicios				
	Recepción	16	1	
	Sanitarios para hombres y mujeres	25	1	
	Oficina	16	1	
	Primeros auxilios	10	1	
	Baño vestidor para empleados	20	1	
	Lavado y planchado	10	1	
	Secado	15	1	
	Alberca para adultos	80	1	
	Alberca para niño	40	1	
				226
Salón				
	Salón	700	1	
				700
Jardín				
	Jardín	800	1	
				800

3.3.5. Zonificación del conjunto

Se realiza la zonificación, figura 3-15, la cual permite ubicar las áreas principales de estacionamiento, salón de eventos, jardín de eventos y hospedaje, dentro del terreno considerando el espacio que se requiere para cada área y tomando en cuenta las relaciones de los diagramas de funcionamiento. Se ubica el área del hospedaje en la parte del terreno más alejada de la carretera, el estacionamiento para el hospedaje se ubica en la estructura existente del invernadero. El área para el salón de eventos se ubica lo más alejado posible del área para hospedaje dejando el área entre estos para el jardín y el estacionamiento para el salón se ubica en la parte más cercana a la carretera. Se aprovechan los caminos existentes, el que se encuentra en el lado oeste para el acceso al salón de eventos y el del lado este para el acceso al área de hospedaje.

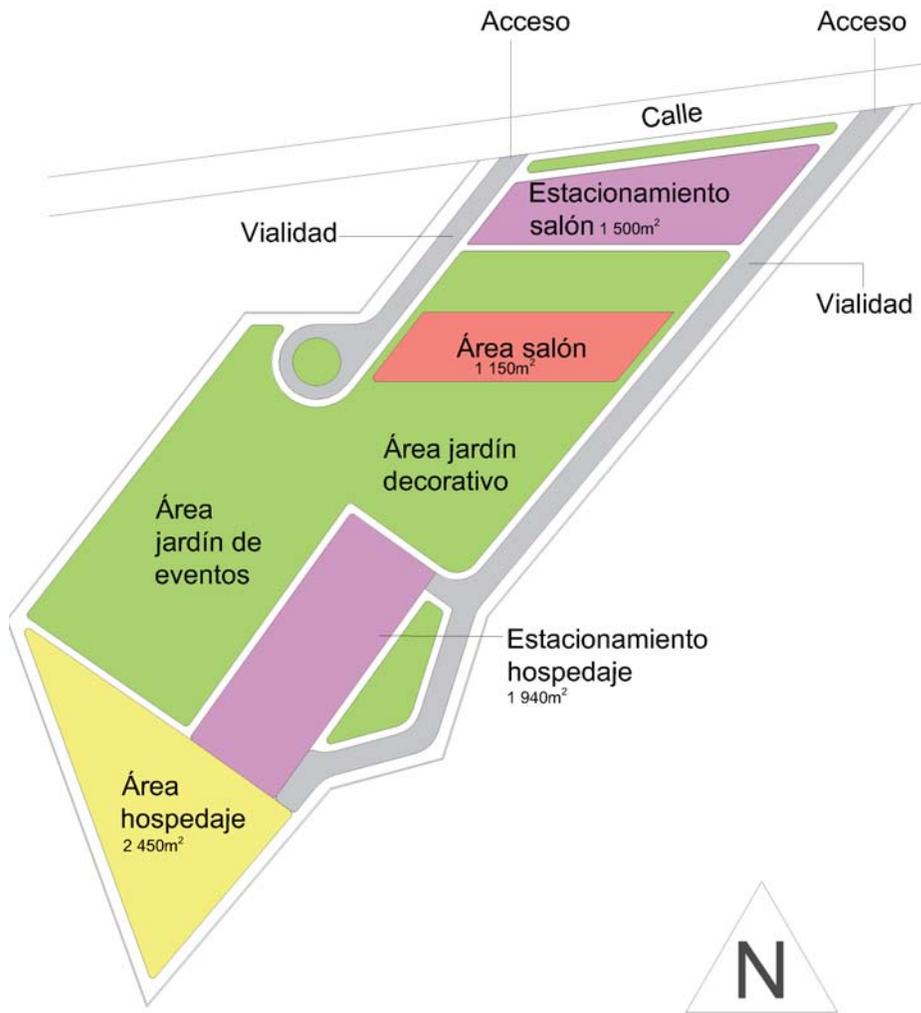


Figura 3-15: Zonificación del terreno.

3.3.6. Análisis de módulos fotovoltaicos

Para estimar el número de módulos fotovoltaicos que se requieren y el espacio que se necesita para colocarlos e integrarlos al diseño, se realiza el cálculo de consumo eléctrico en el área de hospedaje al igual que en el área de administración y servicios. El consumo eléctrico se realiza a partir de las estimaciones de uso de aparatos eléctricos por la Comisión Federal de Electricidad. En la tabla 3-2, se muestra el cálculo de kiloWatt hora al día que se consume en el área de hospedaje de un módulo de ocho habitaciones, esto incluye las habitaciones, baños y circulaciones, un total final de 28 kWh/día. En la tabla 3-3, se muestra este cálculo para el área de administración y servicios, con un total final de 9.77 kWh/día.

Tabla 3-2: kWh día estimados para el área de hospedaje

Local	N. Locales	Aparato	Marca	N. Aparatos	Uso (h)	Potencia (W)	kWh/año	kWh diario	TOTAL kWh/día
Habitación	8	T.V.	Samsung 32"	1	6	33	260	0.1980	
		Ventilador	Trento	1	8	60		0.4800	
		Servibar	Mabe	1				0.7123	
		Celular	Tipo	2	2	5		0.0200	
		Laptop	Gateway	2	4	65		0.5200	
		Plancha ropa	Black+Deker	1	0.5	1200		0.6000	
		Lampara noche	Philips	2	3	11.6		0.0696	
		Foco	Philips	2	4	22		0.1760	
		TOTAL							
Baño	8	Secadora pelo	Conair	1	0.17	1692		0.2820	
		Rasuradora	Timco	1	0.08	2.34		0.0002	
		Plancha pelo	Revlon	1	1	69		0.0690	
		Foco	Philips	2	4	11.6		0.0928	
		TOTAL							
Circulación 1	1	Foco	Philips	1	12	22		0.2640	0.264
TOTAL								0.2640	
Circulación 2	2	Foco	Philips	2	12	22		0.5280	1.056
TOTAL								0.5280	
Ducto	1	Hidroneumático		1	0.5	375		0.1875	
		Máquina hielo		1	4	180		0.7200	
		Foco	Philips	1	1	22		0.0220	
		TOTAL							
TOTAL FINAL									28.0089

Tabla 3-3: kWh/día estimados para el área de administración y servicios.

Local	N. Locales	Aparato	Marca	N. Aparatos	Uso (h)	Potencia (W)	kWh/año	kWh diario	TOTAL kWh/día
Recepción	1	Computadora	Cannon	2	4	300		2.4000	2.8645
		Impresora		1	0.5	9	0.0045		
		Celular		2	2	5	0.0200		
		Foco		4	5	22	0.4400		
		TOTAL							
Pasillo baños	1	Lampara	Philips	2	4	11.6		0.0928	0.1508
		Foco	Philips	1	5	11.6	0.0580		
TOTAL						0.1508			
Baños recepción	2	Foco	Philips	2	5	11.6		0.1160	0.2320
TOTAL						0.1160			
Pasillo servicio	1	Foco		1	3	22		0.0660	0.0660
TOTAL						0.0660			
Baño servicio	2	Foco	Philips	2	3	11.6		0.0696	0.1392
TOTAL						0.0696			
Oficina	1	Computadora	Cannon	1	4	300			0.1465
		Impresora		1	0.5	9	0.0045		
		Celular		1	2	5	0.0100		
		Foco		2	3	22	0.1320		
		TOTAL							
Primeros auxilios	1	Computadora	Philips	1	4	300		1.2000	1.3320
		Foco		2	3	22	0.1320		
TOTAL						1.3320			
Lavandería	1	Lavadora	Whirlpool 16kg	2			406	1.1123	3.0452
		Plancha		1	1	1200	1.2000		
		Secadora ropa	Mabe	1			139	0.3808	
		Foco	Philips	4	4	22	0.3520		
		TOTAL						3.0452	
Patio de lavado	1	Foco	Philips	4	3	22		0.2640	0.2640
TOTAL						0.2640			
Circulación 1	1	Foco	Philips	3	12	22		0.7920	0.7920
TOTAL						0.7920			
Circulación 2	1	Foco	Philips	2	12	22		0.5280	0.5280
TOTAL						0.5280			
Ducto	1	Hidroneumático	Philips	1	0.5	375		0.1875	0.2095
		Foco		1	1	22	0.0220		
TOTAL						0.2095			
TOTAL FINAL									9.7697

La estimación de consumo eléctrico se utiliza para realizar el cálculo de número de módulos fotovoltaicos mostrado en la tabla 3-4. Este cálculo se realiza de acuerdo a lo establecido en la tabla 3-5, se utilizan las especificaciones del módulo fotovoltaico TrinaSolar modelo SOLEPANEL 270 [25] con dimensiones de 1.70 x 1 m. Se redondea el número de módulos a 25 para el área de hospedaje de 8 habitaciones y 9 para el área de administración y servicios.

Tabla 3-4: Número de módulos fotovoltaicos. N_{mod} : número de módulos. kWp: kiloWatts pico. P: potencia del módulo. ϵ_c : Consumo eléctrico. Rs: recurso solar. Rt: rendimiento térmico. η_w : eficiencia del cableado. η_{inv} : eficiencia del inversor.

Área	Variable	Obtención	Valor
Hospedaje			
	$N_{mod}_{hospedaje}$	$kWp_{hospedaje} / P$	24.879
	$kWp_{hospedaje}$	$\epsilon_{Chospedaje} / (Rs * Rt * \eta_w * \eta_{inv})$	6.717
	$\epsilon_{Chospedaje}$	Tabla 3-2	28.009
Servicios			
	$N_{mod}_{servicios}$	$kWp_{servicios} / P$	8.678
	$kWp_{servicios}$	$\epsilon_{Cservicios} / (Rs * Rt * \eta_w * \eta_{inv})$	2.343
	$\epsilon_{Cservicios}$	Tabla 3-3	9.770

Tabla 3-5: Variables utilizadas en el cálculo de número de módulos fotovoltaicos. Especificaciones de módulo SOLARPANEL 270. R_s : radiación solar global horizontal promedio. η_w : eficiencia del cableado. η_{inv} : eficiencia del inversor. R_t : rendimiento térmico. ΔT : Diferencia de temperaturas. T_c : temperatura de la celda. T_a : temperatura ambiente entre 10:00 y 14:00 h. P : potencia del módulo fotovoltaico. T_{STC} : temperatura de condiciones de prueba estándar. C : constante de la celda. I : irradiancia. CT : Coeficiente de temperatura.

Variable	Obtención	Valor
R_s (kWh/m ² día)	Climate Consultant	5.283
η_w (%)	Valor recomendado	0.970
η_{inv} (%)	Valor recomendado	0.950
R_t (%)	1+ Pérdidas	0.857
Pérdidas (%)	$(\Delta T * CT) / 100$	-0.1435
ΔT (K)	$T_c - T_{STC}$	0.35
T_c (°C)	$T_a + (C * I)$	60
T_a (°C)	Climate Consultant	30
P	SOLEPANEL 270	0.27
T_{STC} (°C)	SOLEPANEL 270	25
C	SOLEPANEL 270	0.03
I (W/m ²)	SOLEPANEL 270	1000
CT (%/K)	SOLEPANEL 270	-0.41

3.3.7. Análisis de calentadores solares

Los calentadores solares necesarios para el área de hospedaje y la de servicios se estiman mediante el cálculo de consumo de agua caliente mostrado en la tabla 3-6. Se proponen dos calentadores para el área de hospedaje de ocho habitaciones y uno para la lavandería, marca AXOL de 240 [26] litros con dimensiones de 1.20 x 2.1 m con un tanque de 0.53 m de diámetro.

Se realiza también el cálculo de los colectores solares necesarios para calentar el agua de la alberca. Se utilizan las especificaciones del colector solar ECOSUN 16104-10 [27] y una superficie de 120 m² de la alberca, en la tabla 3-7 se muestra el cálculo de colectores, se redondea el resultado a 20 colectores.

Tabla 3-6: Litros de agua caliente por día en el área de hospedaje y en la de servicios.

Área		
Hospedaje		
	Número de habitaciones	8
	Huéspedes por habitación	2
	Litros por huésped	30
	Gasto en litros por día	480
Servicios		
	Número de lavadoras	2
	Litros por lavadora	150
	Litros por día	300

Tabla 3-7: Colectores solares para la alberca. Ncol: número de colectores necesarios. Acol: área para colectores. dim: dimension del colector. kz:coeficiente para la de zona centro del país. kp: coeficiente de protección. kv: coeficiente de viento. kc: coeficiente de clima. ki: coeficiente de inclinación. largo: medida del lado largo del colector. ancho: medida del ancho del colector. supe: superficie de la alberca.

Variable	Obtención	Valor
Ncol	$Acol / dim$	19.35
Acol	$kz * kp * kv * kc * ki * sup (m^2)$	72.00
kz	Coeficiente recomendado para la zona centro del país	0.75
kp	Coeficiente recomendado para albercas sin manta térmica de protección	1.00
kv	Coeficiente recomendado para velocidades de viento menores a 4.5 m/s	1.00
kc	Coeficiente recomendado para el clima de Xochitepec	0.80
ki	Coeficiente recomendado para albercas con inclinación $\pm 10\%$	1.00
dim	$largo * ancho$	3.72
largo	ECOSUN 1604-10	3.05
ancho	ECOSUN 1604-10	1.22
sup	superficie de la alberca (m^2)	120.00

3.4. Planimetría del anteproyecto arquitectónico

El anteproyecto se realiza con base a los análisis previos. En la figura 3-16 se muestra la planta de conjunto, compuesta por un módulo para la administración y servicios y tres módulos de habitaciones, cada módulo se compone de ocho habitaciones cuatro en planta baja y cuatro en planta alta. En la esquina superior derecha de la figura se muestra la disposición del conjunto dentro del área del terreno correspondiente al hospedaje.

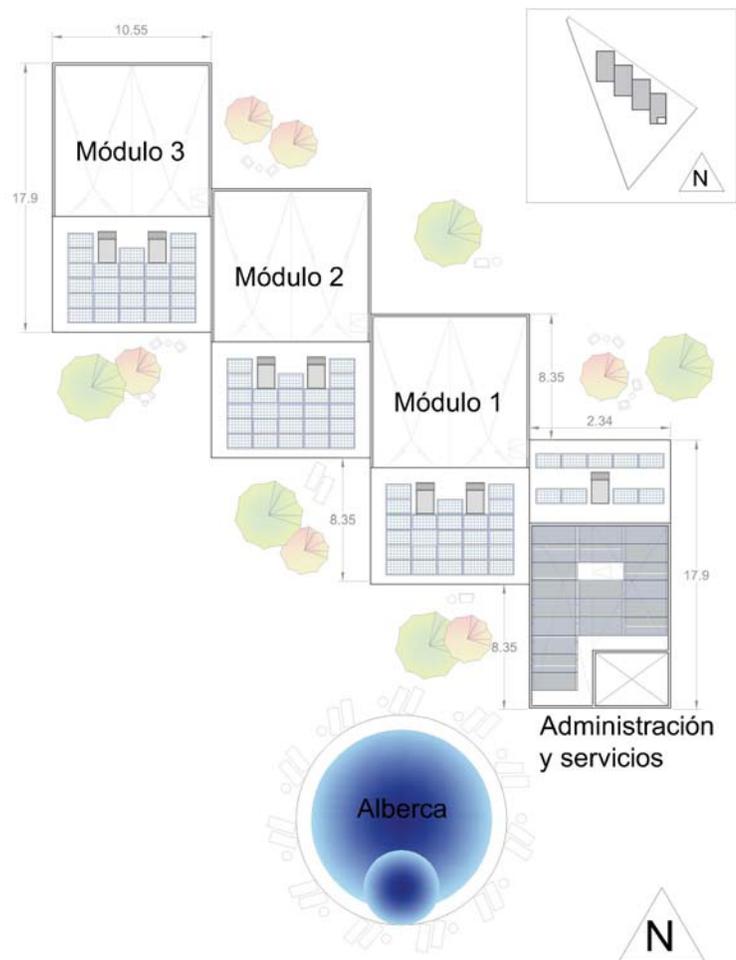


Figura 3-16: Planta de conjunto. Medidas en metros.

A pesar de que los módulos de manera individual no cumplen con la condición de tener las fachadas largas orientadas al norte y sur, se realizaron distintos acomodos, siendo el acomodo mostrado el que puede realizarse dentro del terreno planteado y el que mejor cumple con los requerimientos del propietario y las recomendaciones bioclimáticas planteadas.

El conjunto se plantea en módulos para facilitar la construcción por etapas. La primera etapa de construcción se compone por el módulo de administración y servicios, la planta de este módulo se muestra en la figura 3-17, y el módulo 1 de habitaciones. En la figura 3-18 se muestra la planta tipo para el módulo de habitaciones, esta planta se repite para los tres módulos de habitaciones en planta baja y planta alta de igual manera. La planta tipo se compone por 4 habitaciones. Se observa que la fachada este y oeste se encuentran cerradas sin ventanas (marcadas en color naranja), existiendo ventanas únicamente en las fachadas norte y sur. El módulo se encuentra separado en la mitad por un ducto (marcado por líneas color rosa). El ducto es un espacio techado con paredes exteriores de celosía (marcadas en color verde), tiene la función de ventilación natural, revisión, reparación y paso de instalaciones. El pasillo que rodea el módulo (marcado en amarillo) tiene la función de circulación, así como el de separación entre módulos permitiendo el paso del aire, por otra parte, el pasillo de la planta alta funciona como elemento de sombreado para las habitaciones de planta baja. Las dimensiones de las habitaciones y baños están diseñadas para el uso de silla de ruedas.

La planta de azotea de un módulo de habitaciones se muestra en la figura 3-19, esta planta se repite para todos los módulos de habitaciones. Se observan los módulos fotovoltaicos y los calentadores solares colocados sobre la losa inclinada, con una pendiente de 32% lo cual produce un ángulo de 18° de inclinación. El calentador de paso y el tanque estacionario de gas (marcados por línea punteada), se encuentran en la losa plana, cubiertos por la losa inclinada. La losa plana cuenta con 2% de pendiente hacia las bajadas pluviales, las cuales bajan por el ducto para la recolección de agua pluvial.

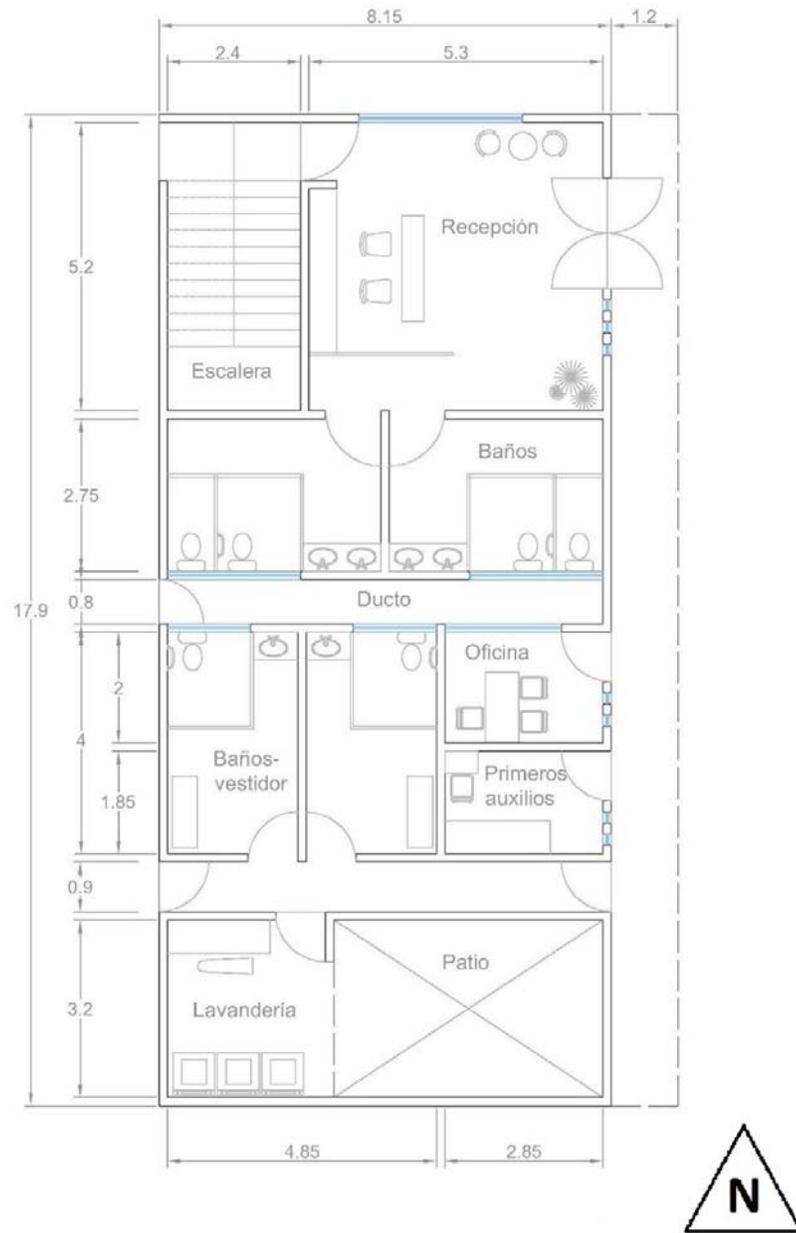
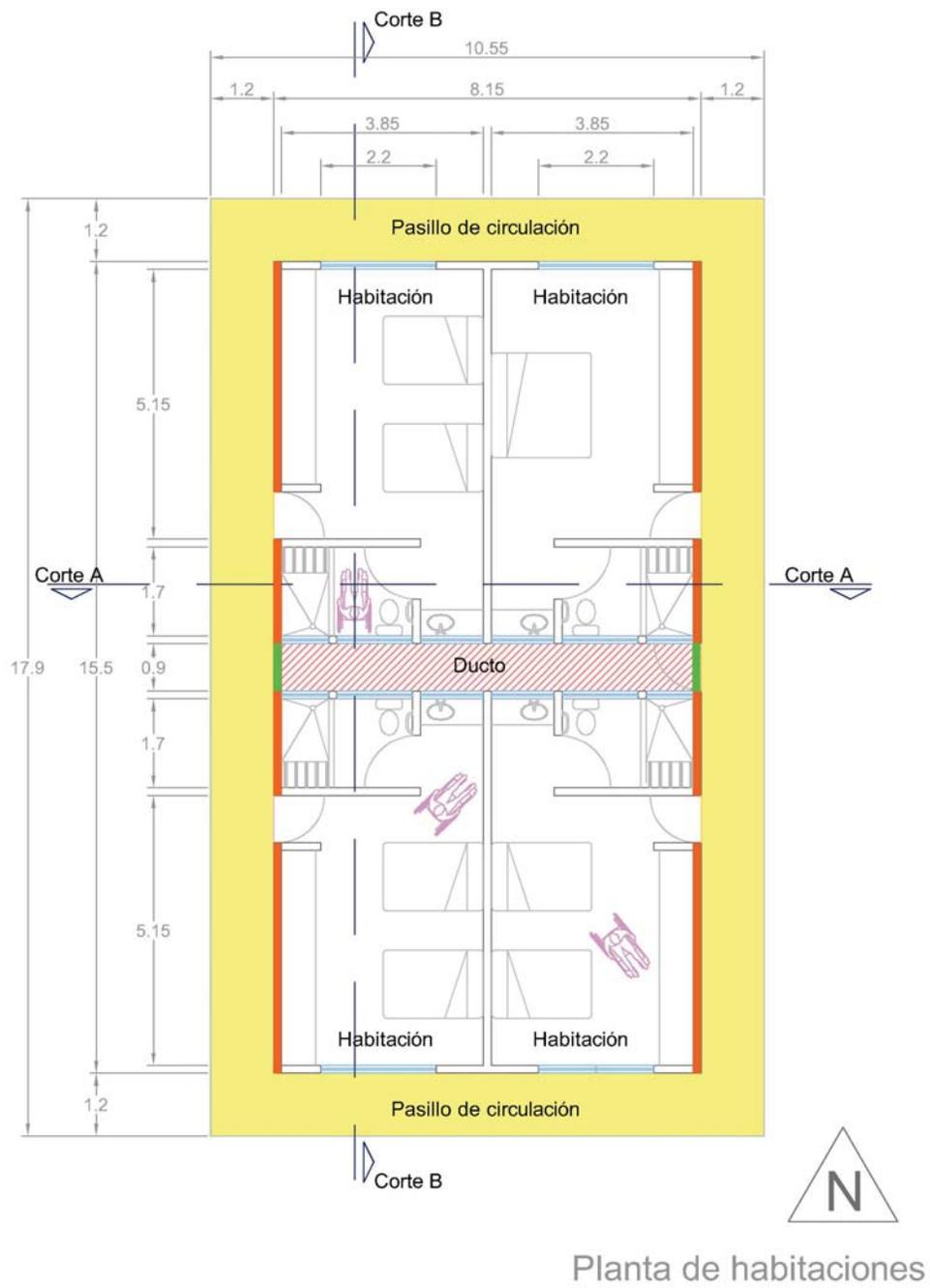


Figura 3-17: Planta del módulo de administración y servicios. Medidas en metros.



Planta de habitaciones

Figura 3-18: Planta tipo del módulo de habitaciones. Medidas en metros.

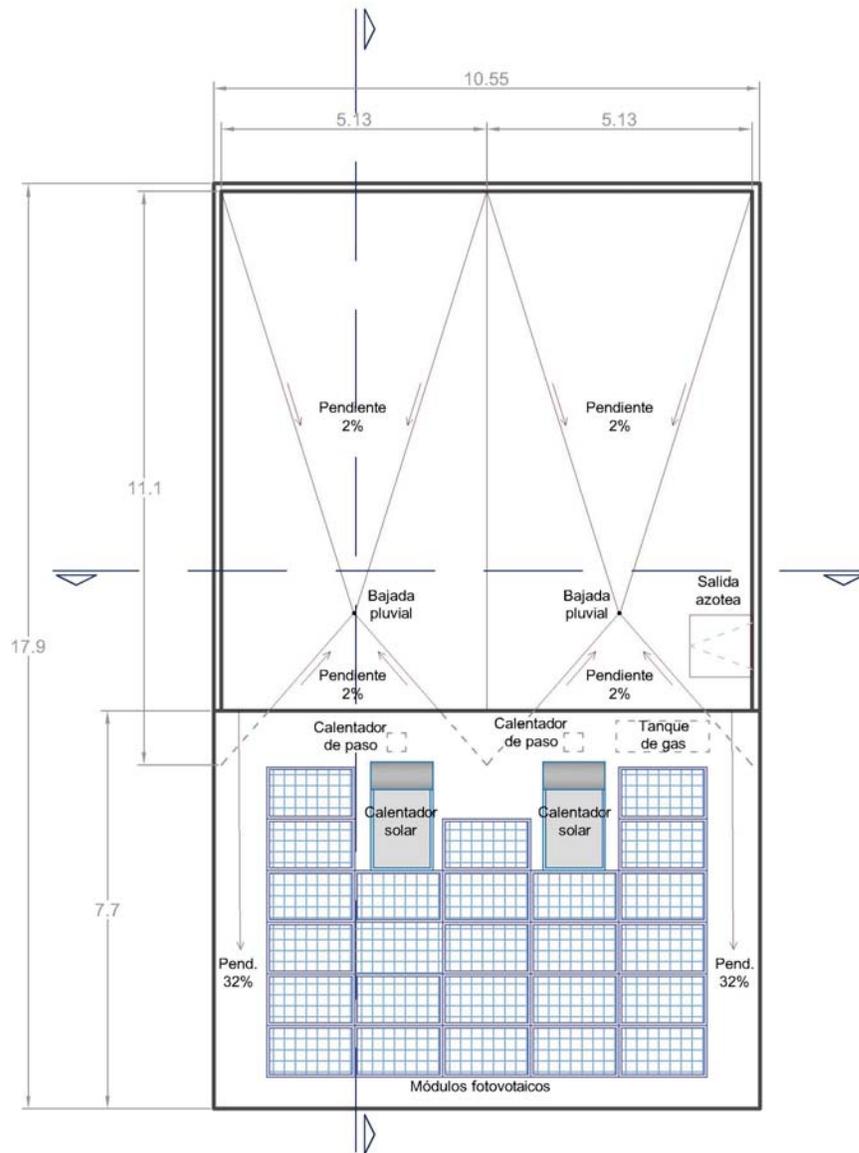


Figura 3-19: Planta de azotea del módulo de habitaciones. Medidas en metros.

En la figura 3-20 se muestran los cortes A y B de un módulo de habitaciones. Se observa en ambos cortes que el tanque de gas y el calentador de paso se encuentran en la azotea cubiertos por la losa inclinada. Se observa el ducto para las instalaciones con paso a la azotea y se muestran las alturas de las ventanas.

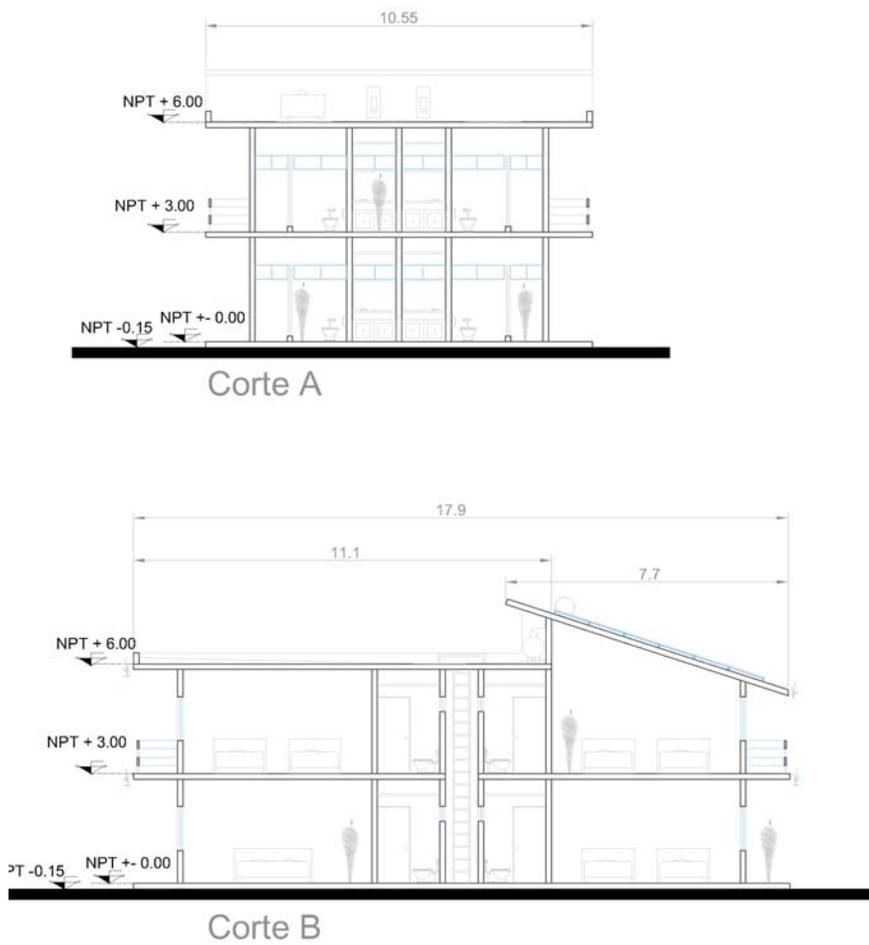


Figura 3-20: Corte A y B del módulo de habitaciones.

En la figura 3-21, se muestra las fachadas este y oeste del módulo de administración y servicios y del módulo 1 de habitaciones. Sobre la losa inclinada a un ángulo de 18° se colocarán los módulos fotovoltaicos y calentadores solares (en color azul), siendo la inclinación de la latitud del lugar para el mejor desempeño de estos. Se observan los muros verdes (marcados en verde), los cuales protegen de la radiación solar, estos se encuentran separados de los muros por el pasillo de circulación, para evitar humedades y facilitar su mantenimiento. En la figura 3-22 se muestran las fachadas norte y sur de un módulo de ocho habitaciones. Se observan los módulos fotovoltaicos y los calentadores solares en la fachada sur.

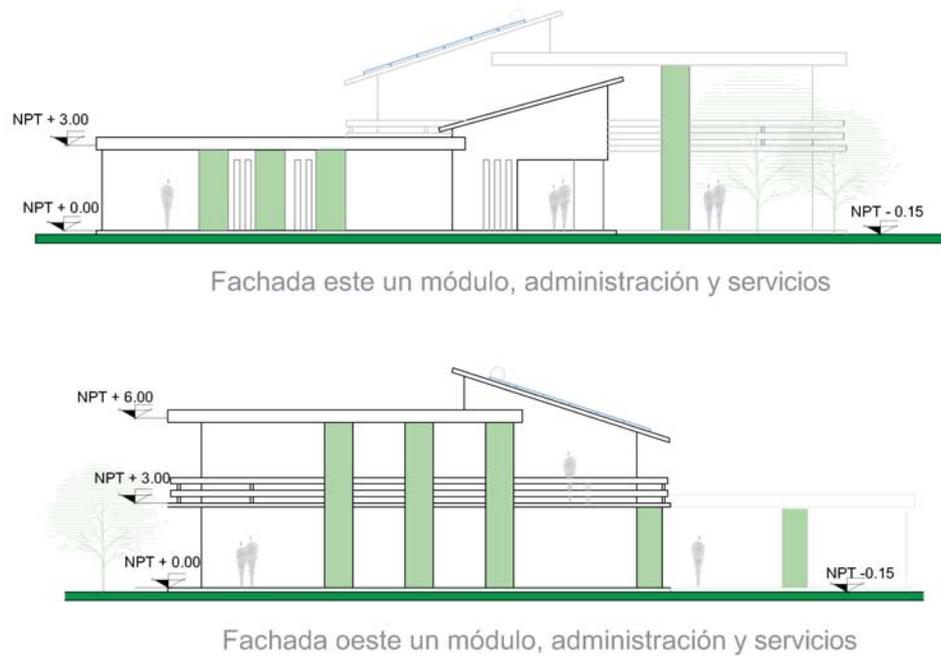


Figura 3-21: Fachada este y oeste del módulo de habitaciones con la administración y servicios. Primera etapa de construcción.

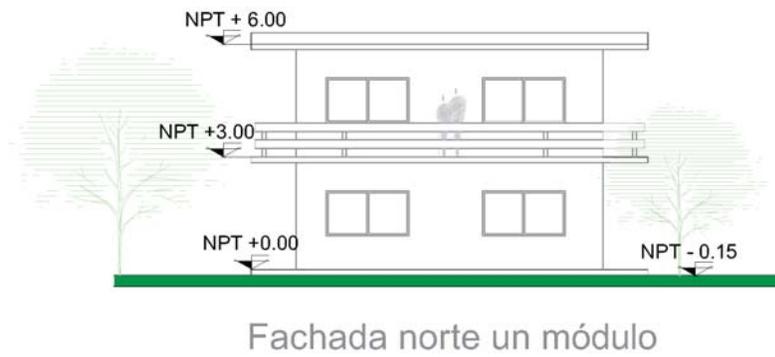
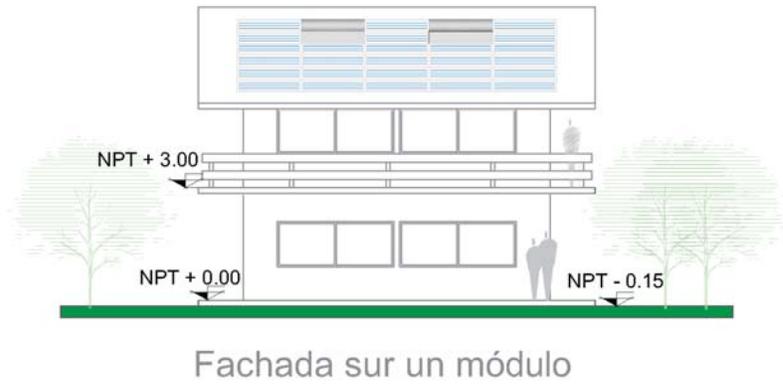


Figura 3-22: Fachada norte y sur del módulo de habitaciones.

En la figura 3-23, se muestra la fachada este y oeste de los tres módulos con la administración y servicios. En la figura 3-24 se muestra una perspectiva del conjunto.

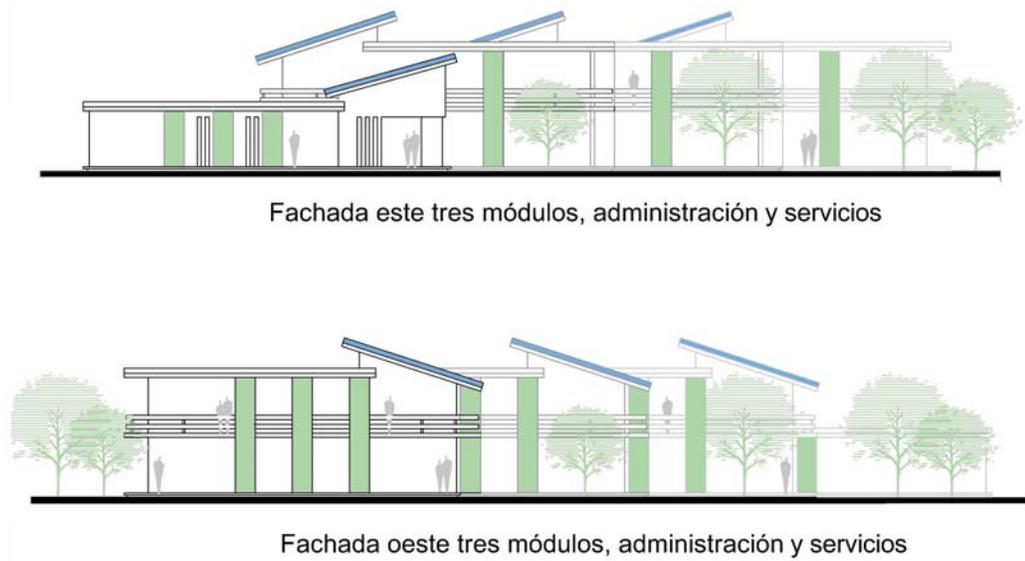


Figura 3-23: Fachada este y oeste del conjunto.



Figura 3-24: Perspectiva del conjunto.

3.5. Análisis de protecciones solares

Se realiza el análisis de la protección solar proporcionada por los aleros de las ventanas. El análisis se realiza para el módulo 1 de ocho habitaciones. Para este análisis se utiliza la gráfica de sombreado del sol del programa Climate Consultant 6.0 [18], esta herramienta supone aleros infinitos, esta suposición se considera valida ya que los aleros en este proyecto sobrepasan las ventanas 5.35m de un lado y 2.10m del otro.

En la figura 3-8, se muestran las dimensiones de las ventanas y el ángulo de altura solar de las protecciones. El ángulo de altura solar se obtiene mediante la ecuación 3-1, los resultados del cálculo se muestran en la tabla 3-8.

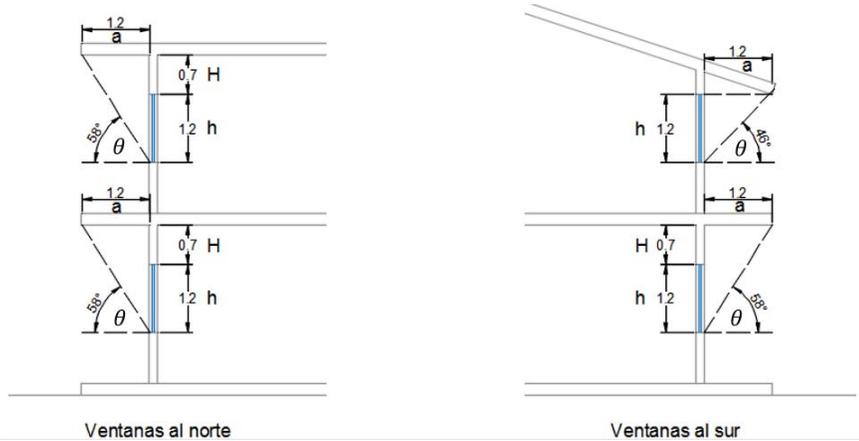


Figura 3-25: Dimensiones de las ventanas y ángulos de las protecciones. Dimensiones en metros.

$$\theta = \arctan \frac{h + H}{a} \quad (3-1)$$

Ecuación 3-1: Ángulo de altura solar de la protección θ ($^{\circ}$); h (m): dimensión vertical de la ventana. H (m): distancia del extremo superior de la ventana al inicio del alero. a (m): longitud del alero.

Tabla 3-8: Ángulos de altura solar de protección. h (m): dimensión vertical de la ventana. H (m): distancia del extremo superior de la ventana y el inicio del alero. a (m): longitud del alero. θ ($^\circ$): ángulo de altura solar de protección.

	h	H	a	θ
Ventanas al norte	1.2	0.7	1.2	58
Ventanas al sur planta baja	1.2	0.7	1.2	58
Ventanas al sur planta alta	1.2	0	1.2	45

Los ángulos obtenidos se utilizan para calcular la protección solar que proporcionan los aleros. En la figura 3-26 se muestra la protección solar en las ventanas orientadas al norte. Se observa que el alero no protege algunas horas en la tarde después de las 16:30 h en los meses de mayo, junio, julio, y después de las 17:30 h en los meses de abril y agosto, sin embargo, estas horas son protegidas por el módulo 2 de habitaciones.

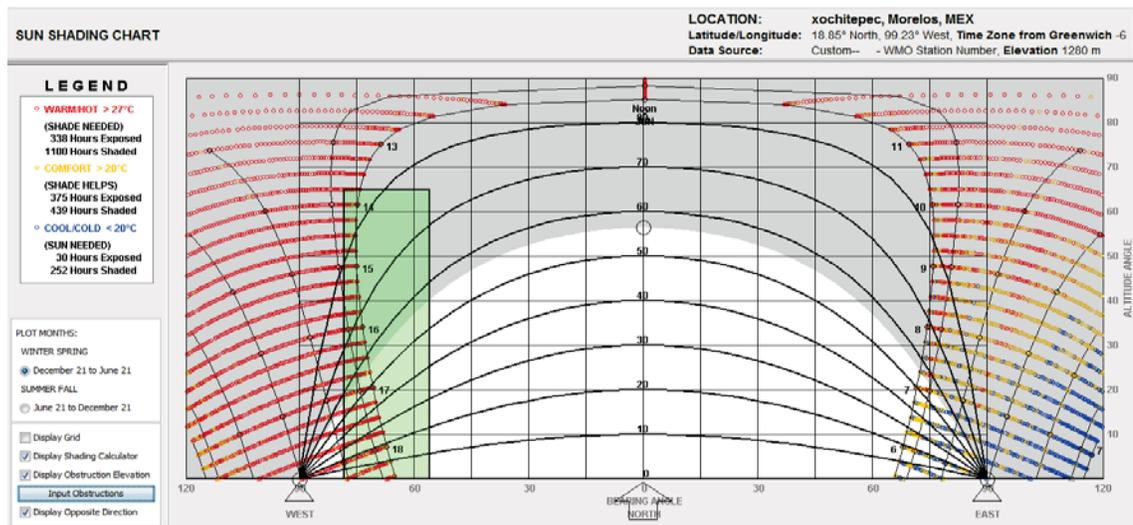


Figura 3-26: Protección que proporcionan las protecciones de las ventanas al norte. Puntos rojos: temperatura mayor a 24°C con necesidad de sombreado. Puntos amarillos: temperaturas mayorea a 20° . Puntos azules: temperaturas menores a 20°C necesidad de radiación solar. Área gris: sombreado que proporcionan las protecciones. Verde: sombreado que proporciona el módulo al lado oeste.

La protección que proporcionan los aleros de las ventanas orientadas al sur en planta baja se muestra en la figura 3-27. Se observa que no se proporciona sombra en los meses de diciembre, enero y noviembre a ninguna hora del día ni en febrero y octubre desde que sale el sol hasta las 9:30 h y por la tarde desde las 14:30 h hasta que se oculta el sol. Se recomienda colocar arboles al sur y sur-suroeste del módulo para cubrir las horas a partir de las 12:00 h.

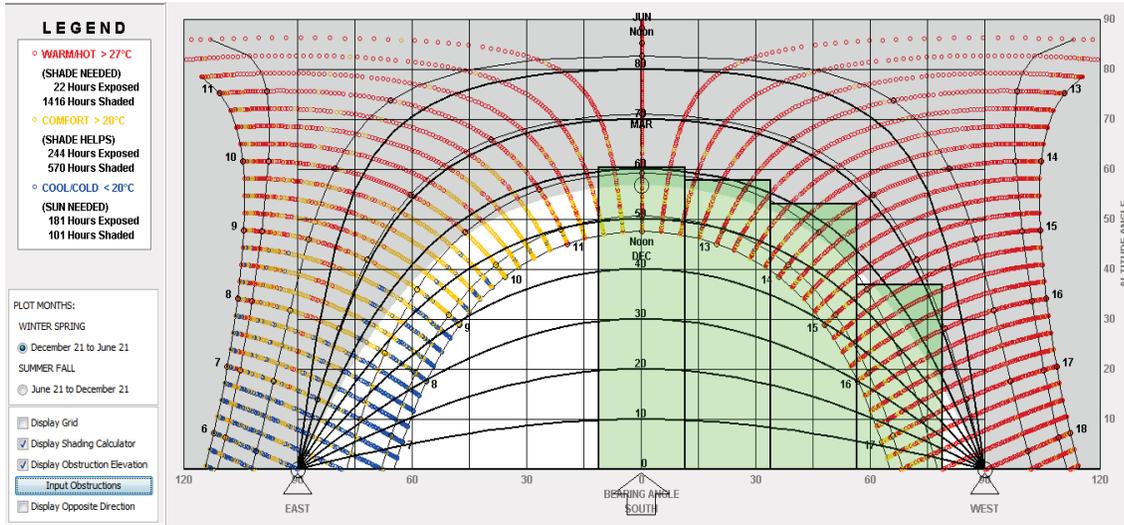


Figura 3-27: Protección que proporcionan las protecciones de las ventanas al sur en planta baja con árboles. Puntos rojos: temperatura mayor a 24 °C con necesidad de sombreado. Puntos amarillos: temperaturas mayorea a 20 °C. Puntos azules: temperaturas menores a 20 °C necesidad de radiación solar. Área gris: sombreado que proporcionan las protecciones. Verde: sombreado que proporcionan los árboles al sur.

Se muestra en la figura 3-28 la protección que proporcionan los aleros en las ventanas orientadas al sur en planta alta. Se observa que los aleros proporcionan protección para todas las horas en que son necesarios, con excepción de los meses de diciembre, enero y noviembre después de las 15:00 h hasta que se oculta el sol y en febrero y octubre después de las 17:00 h hasta que se oculta el sol.

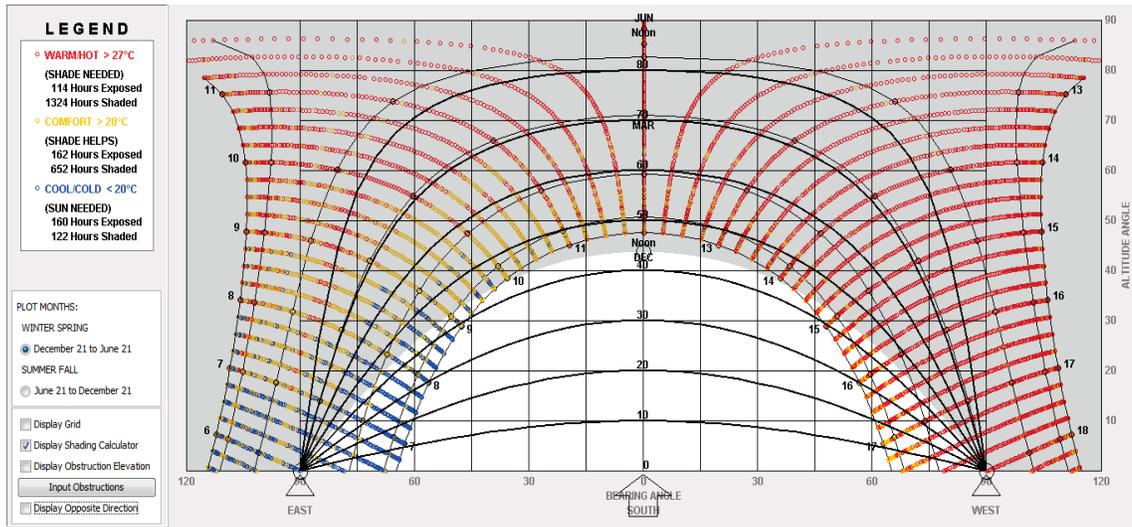


Figura 3-28: Protección que proporcionan las protecciones de las ventanas al sur en planta alta. Puntos rojos: temperatura mayor a 24 °C con necesidad de sombreado. Puntos amarillos: temperaturas mayores a 20 °. Puntos azules: temperaturas menores a 20 °C necesidad de radiación solar. Área gris: sombreado que proporcionan las protecciones.

3.6. Análisis del sistema constructivo

Se realiza el análisis de sistema constructivo para la envolvente arquitectónica. Se comparan cuatro sistemas constructivos para los muros exteriores bajo las condiciones climáticas de Xochitepec.

Se utiliza la herramienta en línea Ener-Habitat [28] la cual permite realizar la comparación entre sistemas constructivos utilizando un modelo de transferencia de calor dependiente del tiempo. Los parámetros utilizados para evaluar los sistemas constructivos sin uso de aire acondicionado son, la energía transmitida, siendo la energía que entra a la edificación a través del sistema constructivo por unidad de área en un día, ecuación 3-2, el menor valor de este parámetro representa un mejor sistema constructivo.

El factor de decremento con la temperatura sol-aire, siendo el cociente de la amplitud de la oscilación de la temperatura del aire al interior y la amplitud de la oscilación de la

temperatura sol-aire, ecuación 3-3, el menor valor de este parámetro representa un mejor sistema constructivo, la temperatura sol-aire es la temperatura que sustituye a la temperatura del aire exterior para tomar en cuenta los efectos de la temperatura del aire exterior, la radiación solar y la radiación de onda larga, ecuación 3-4. Otro parámetro utilizado es el tiempo de retraso, el cual indica la diferencia en tiempo en que se presenta la temperatura máxima del aire al interior y la temperatura máxima sol-aire, ecuación 3-5, el mayor valor de este parámetro representa un mejor sistema constructivo para este tipo de clima. Para evaluar los sistemas usando aire acondicionado se usan los parámetros de carga térmica de enfriamiento ecuación 3-6, carga térmica de calentamiento ecuación 3-7 y carga térmica total, la cual es la suma de las dos anteriores, ecuación 3-8.

$$ET = \sum_j h_i(Tw_{i_j} - T_{i_j})\Delta t \quad \text{si } Tw_i > T_i \quad (3-2)$$

Ecuación 3-2. Energía transmitida ET que entra a la edificación (Wh/m^2 día); h_i ($W/m^2 \cdot K$): coeficiente convectivo al interior. Tw_i (K): temperatura superficial de la pared al interior. T_i (K) temperatura del aire al interior. Δt (h día) intervalo de tiempo de la solución numérica.

$$FD_{sa} = \frac{T_{i_{max}} - T_{i_{min}}}{Tsa_{max} - Tsa_{min}} \quad (3-3)$$

Ecuación 3-3. Factor de decremento con la temperatura sol-aire FD_{sa} ; $T_{i_{max}}$ ($^{\circ}C$): temperatura máxima del aire al interior. $T_{i_{min}}$ ($^{\circ}C$): temperatura mínima del aire al interior. Tsa_{max} ($^{\circ}C$): temperatura sol-aire máxima. Tsa_{min} ($^{\circ}C$) temperatura sol-aire mínima.

$$Tsa = Ta + \frac{aI}{ho} - CF \quad (3-4)$$

Ecuación 3-4. Temperatura sol-aire Tsa ($^{\circ}C$); Ta ($^{\circ}C$): temperatura ambiente. a : absorptancia solar. I (W/m^2): radiación solar incidente sobre la superficie. ho ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$): coeficiente

convectivo en la superficie exterior. CF: pérdida de onda larga.

$$TR = t_{T_{i_{max}}} - t_{T_{sa_{max}}} \quad (3-5)$$

Ecuación 3-5. Tiempo de retraso TR (h). $t_{T_{i_{max}}}$ (h): tiempo en que ocurre la temperatura máxima al interior. $t_{T_{sa_{max}}}$ (h): tiempo en que ocurre la temperatura sol-aire máxima.

$$Q_e = \sum_j h_i(T_{wi_j} - T_{i_j})\Delta t \quad (3-6)$$

Ecuación 3-6. Carga térmica de enfriamiento Q_e (Wh/m^2 día). h_i ($W/m^2 \cdot K$): coeficiente convectivo al interior. T_{wi} (K): temperatura superficial de la pared interior. T_i (K) temperatura del aire al interior fijada al límite superior de la temperatura de confort. Δt (h) el intervalo de tiempo de la solución numérica.

$$Q_c = \sum_j h_i(T_{i_j} - T_{wi_j})\Delta t \quad (3-7)$$

Ecuación 3-7. Carga térmica de calentamiento Q_c (Wh/m^2 día). h_i ($W/m^2 \cdot K$): coeficiente convectivo al interior. T_i (K) temperatura del aire al interior fijada al límite superior de la temperatura de confort. T_{wi} (K): temperatura superficial de la pared interior. Δt (h) el intervalo de tiempo de la solución numérica.

$$Q_t = Q_e + Q_c \quad (3-8)$$

Ecuación 3-8. Carga térmica total Q_t (Wh/m^2 día). Q_e (Wh/m^2 día): carga térmica de enfriamiento. Q_c (Wh/m^2 día): carga térmica de calentamiento.

La composición de los sistemas constructivos de muros exteriores comparados se muestra en la tabla 3-9. Todos los sistemas tienen un acabado de pintura blanca al exterior.

Tabla 3-9: Composición de los sistemas constructivos de muros exteriores.

Sistema constructivo	SC1	SC2	SC3	SC4
Absortancia solar de capa exterior	0.2	0.2	0.2	0.5
Capa 1 contacto con el exterior	Mortero cemento-arena	Mortero cemento-arena	Mortero cemento-arena	Adobe
Espesor de capa 1 (m)	0.015	0.015	0.015	0.15
Capa 2	Block hueco de concreto	Block de concreto	Tabique	
Espesor de capa 2 (m)	0.12	0.12	0.12	
Capa 3 contacto con el interior	Yeso	Yeso	Yeso	
Espesor de capa 3 (m)	0.015	0.015	0.015	

Se compara el comportamiento de los sistemas constructivos de muros exteriores bajo las condiciones climáticas de Xochitepec, sin el uso de aire acondicionado, en los meses de enero y mayo en las orientaciones de norte, sur, este y oeste, figuras 3-29 a 3-32. Se observa que el sistema constructivo con mejor comportamiento es el sistema constructivo cuatro, SC4, compuesto de una capa de adobe, al presentar la menor energía transmitida, el menor factor de decremento y el mayor tiempo de retraso de los cuatro sistemas comparados.

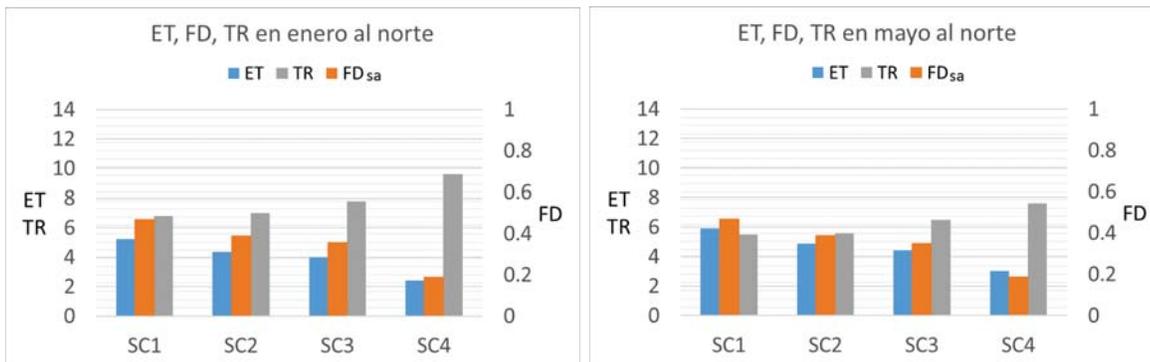


Figura 3-29: Sistemas constructivos al norte en enero y mayo, sin uso de aire acondicionado. ET (Wh/m^2 día): energía transmitida. FD: factor de decremento sol-aire. TR (h): tiempo de retraso.



Figura 3-30: Sistemas constructivos al sur en enero y mayo, sin uso de aire acondicionado. ET (Wh/m^2 día): energía transmitida. FD: factor de decremento sol-aire. TR (h): tiempo de retraso.

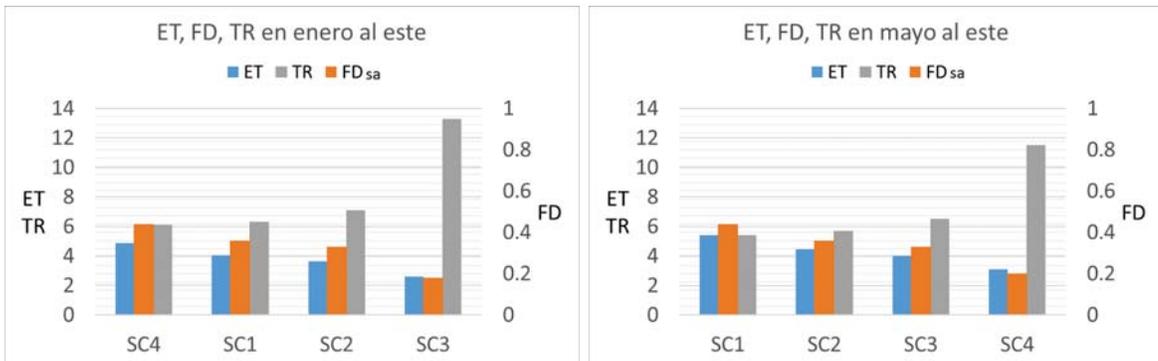


Figura 3-31: Sistemas constructivos al este en enero y mayo, sin uso de aire acondicionado. ET (Wh/m^2 día): energía transmitida. FD: factor de decremento sol-aire. TR (h): tiempo de retraso.

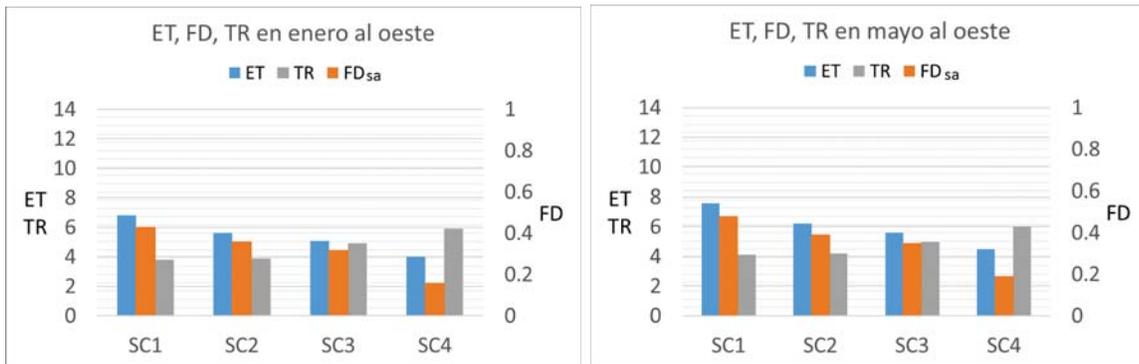


Figura 3-32: Sistemas constructivos al oeste en enero y mayo, sin uso de aire acondicionado. ET (Wh/m^2 día): energía transmitida. FD: factor de decremento sol-aire. TR (h): tiempo de retraso.

Se compara el comportamiento de los sistemas constructivos en muros exteriores bajo las condiciones climáticas de Xochitepec con uso de aire acondicionado, en los meses de enero, mes que presenta el menor valor de temperatura media promedio mensual y mayo, mes que presenta el mayor valor de temperatura media promedio mensual, en las orientaciones de norte, sur, este y oeste, figuras 3-33 a 3-36. Se observa que el sistema constructivo que presenta mejor comportamiento es el sistema constructivo tres, SC3, compuesto por una capa de mortero-cemento-arena al exterior, una capa de tabique y una capa de yeso al interior, al presentar la menor carga de enfriamiento y la menor carga total de los cuatro sistemas constructivos comparados, con excepción del caso del mes de enero al este, en donde el adobe presenta menor cargas totales.

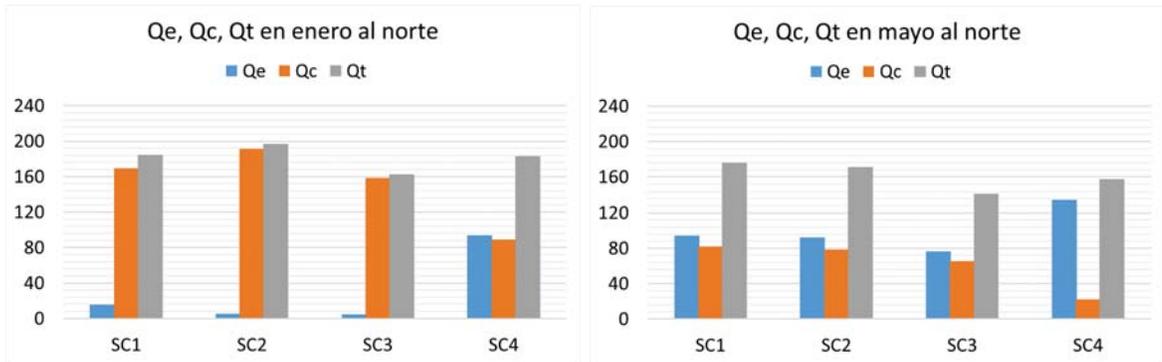


Figura 3-33: Sistemas constructivos al norte en enero y mayo con uso de aire acondicionado. Qe: Cargas térmicas de enfriamiento. Qc: Cargas térmicas de calentamiento. Qt: Cargas térmicas totales. En (Wh/m^2 día)

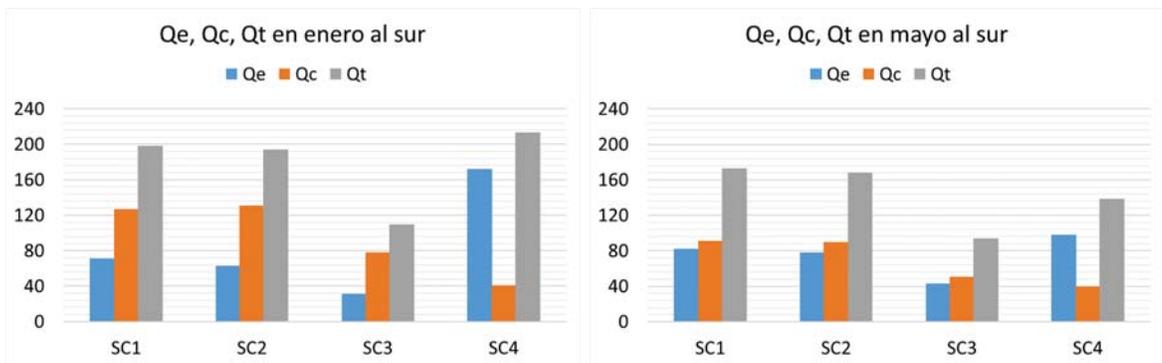


Figura 3-34: Sistemas constructivos al sur en enero y mayo con uso de aire acondicionado. Qe: Cargas térmicas de enfriamiento. Qc: Cargas térmicas de calentamiento. Qt: Cargas térmicas totales. En (Wh/m^2 día)

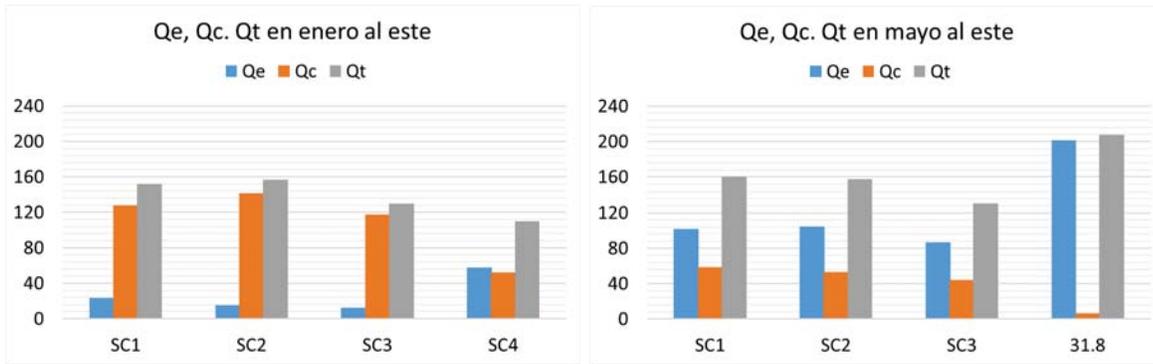


Figura 3-35: Sistemas constructivos al este en enero y mayo con uso de aire acondicionado. Qe: Cargas térmicas de enfriamiento. Qc: Cargas térmicas de calentamiento. Qt: Cargas térmicas totales. En (Wh/m^2 día)

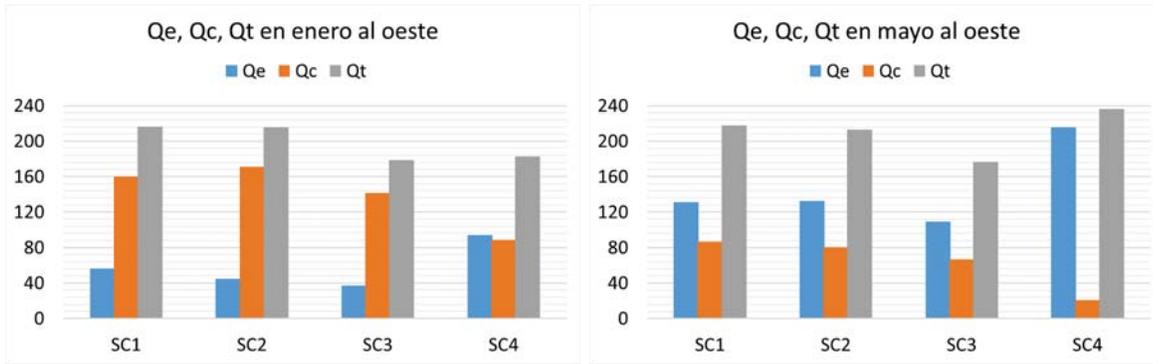


Figura 3-36: Sistemas constructivos al oeste en enero y mayo con uso de aire acondicionado. Qe: Cargas térmicas de enfriamiento. Qc: Cargas térmicas de calentamiento. Qt: Cargas térmicas totales. En (Wh/m^2 día)

El sistema constructivo tres, SC3, compuesto por una capa de 0.015m de mortero cemento-arena pintado de color blanco en contacto con el exterior, una capa de 0.12m de tabique y una capa de 0.015m de yeso en contacto con el interior, es elegido como sistema constructivo en muros exteriores para este proyecto, al ser el sistema constructivo con mejor comportamiento con aire acondicionado y el segundo mejor sin aire acondicionado, ya que en el proyecto se emplearán ambas condiciones.

Capítulo 4

Metodología del análisis térmico y lumínico

El conjunto esta diseñado para su construcción en etapas, la primera etapa se compone por el módulo de administración y servicios y el módulo 1 de habitaciones. El análisis lumínico y térmico se lleva a cabo para el módulo 1 de habitaciones, tomando en cuenta los efectos de sombreado del módulo de administración y servicios. Posteriormente se realiza el análisis tomando en cuenta los efectos de sombreado del módulo 2 de habitaciones. Se espera que el comportamiento del módulo 3 sea similar al comportamiento del módulo 1 de habitaciones en la primer etapa de construcción. Se realiza un modelo en el programa SketchUp 2017 [14] utilizando la extensión de OpenStudio 2.5 [29]. El modelo se realiza con las medidas de los planos arquitectónicos mostrados en el capítulo 3. Los aleros, los módulos fotovoltaicos y los muros verdes se representan como superficies de sombreado y los árboles sugeridos en el capítulo 3 como elementos de sombreado. El módulo de administración y servicios y el módulo 2 se representan como edificios de sombreado, figura 4-1.

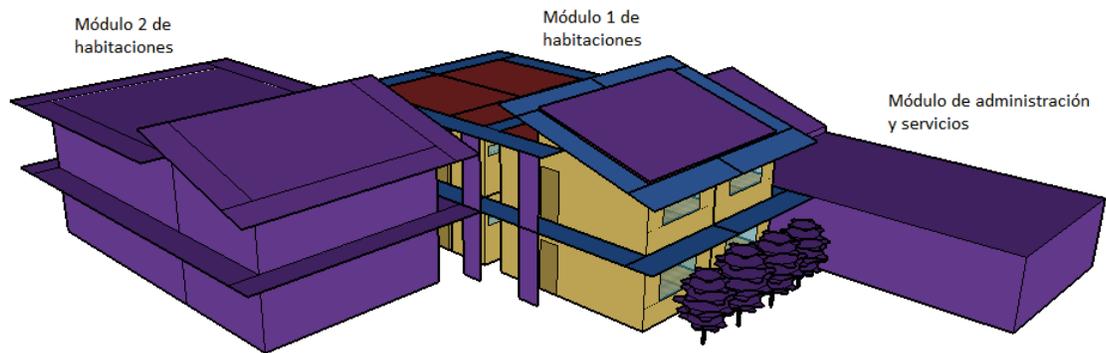


Figura 4-1: Modelo del módulo de ocho habitaciones con el módulo de administración y servicios y el módulo 2.

En la interfaz de OpenStudio 2.5 [29] se eliminan las cargas térmicas internas, se agrega una infiltración de 0.7 cambios de aire por hora, se crean los materiales establecidos en el capítulo 3. El espesor, conductividad, densidad y calor específico de los materiales utilizados se muestra en la tabla 4-1. Las especificaciones del vidrio utilizado en las ventanas se muestran en la tabla 4-2. La composición de los sistemas constructivos utilizados se muestra en la tabla 4-3.

Tabla 4-1: Materiales utilizados en el modelo

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m K)	Densidad (kg/m^3)	Calor específico (J/kg K)
Mortero cemento-arena	0.015	1	1800	1000
Tabique	0.120	0.7	1970	800
Yeso	0.015	0.16	1000	600
Concreto	0.150	1.35	1800	1000
Impermeabilizante	0.005	0.16	1000	600

Tabla 4-2: Especificaciones del vidrio para las ventanas de modelo.

Material	Espesor (m)	U (W/m k)	SHGC	Transmitancia en el visible
Vidrio	0.003	0.33	0.56	0.7

Tabla 4-3: . Sistemas constructivos utilizados en el modelo.

Sistema constructivo	Absortancia solar	Capa 1 exterior	Capa 2	Capa 3 interior
Muro exterior	0.2	Mortero cemento-arena 0.015 m	Tabique 0.12 m	Yeso 0.015 m
Losa de azotea	0.2	Impermeabilizante 0.005 m	Concreto 0.15 m	
Muro interior	0.2	Yeso 0.015 m	Tabique 0.12 m	Yeso 0.015 m
Losa de entrepiso	0.7	Concreto 0.15 m		

Las habitaciones se nombran de acuerdo a la figura 4-2.

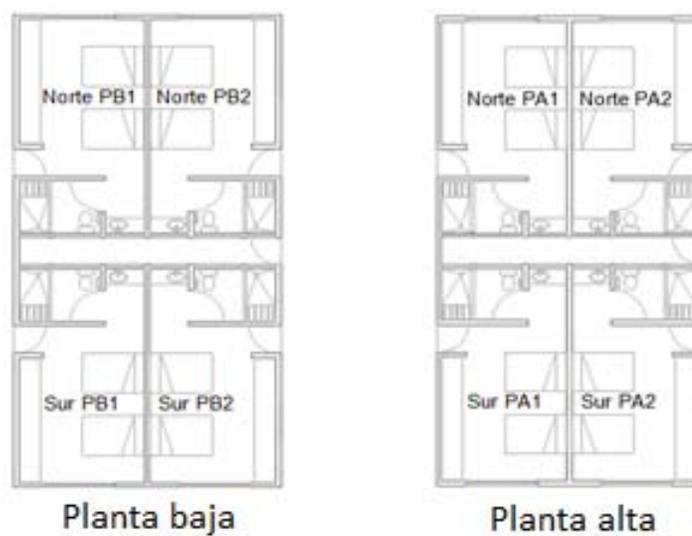


Figura 4-2: Nomenclatura de habitaciones.

4.1. Metodología para análisis lumínico

La simulación del comportamiento lumínico se realiza mediante el programa Radiance [?] a través de OpenStudio [29] . Se utiliza el archivo de clima EPW del capítulo 3, generado por el programa Meteonorm [19] . Se colocan mapas de iluminancia (illumance Maps) dentro de las ocho habitaciones del módulo, con una medida de 3.9 x 5.2 metros formados por una retícula de 8x8, figura 4-3, a una altura de 0.75 metros. Se agrega en cada habitación un sensor de deslumbramiento (Glare Sensor) y el control de iluminación natural (Daylighting Control), los cuales permiten generar la simulación en Radiance [?]. El eje “Y8” se ubica del lado de la ventana.

En la interfaz de OpenStudio se aplica el parámetro de Medida de iluminación natural de Radiance (Radiance Daylight Measure) para generar el archivo con terminación .ill con la información de los niveles de iluminación de los mapas. Se utiliza el programa Daylight [30], el cual permite calcular el parámetro de iluminación natural útil, UDI, a partir del archivo .ill.

Los parámetros utilizados para el análisis lumínico son los mapas de iluminación UDI, cuyas siglas en inglés significan iluminación natural útil, se evalúa el UDI sub iluminado, UDI útil y UDI sobre iluminado, los cuales representan el porcentaje de tiempo por año en que cada punto del mapa de iluminación permanece por debajo del nivel mínimo de iluminación, entre el nivel mínimo de iluminación y el nivel máximo de iluminación y por arriba del nivel máximo de iluminación en lux respectivamente. Se utiliza también el parámetro de nivel de iluminación en el eje “Y”, en la sección “X4” del mapa de iluminación, ubicada en medio de la habitación y el nivel de iluminación en el eje “X”, en la sección “Y0”, ubicada en la parte más alejada de la habitación, figura 4-3. Otro parámetro utilizado es la frecuencia de confort visual, el cual representa el promedio del porcentaje de tiempo del año en que cada punto del mapa de iluminancia se encuentra dentro de los parámetros de iluminación útil.

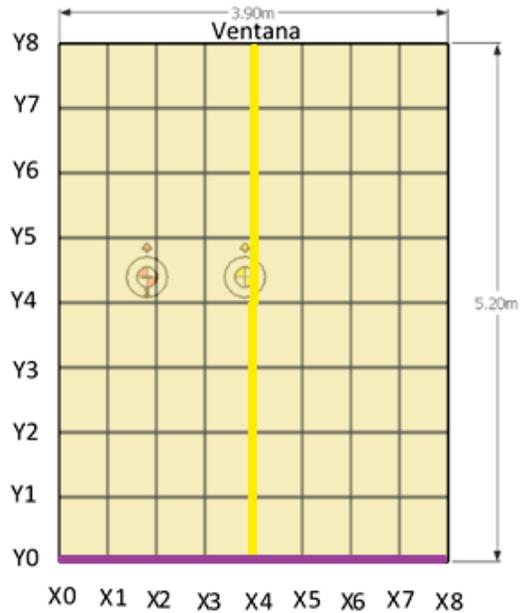


Figura 4-3: Mapa de iluminancia (Illuminance Map) para las habitaciones del módulo.

Los mapas UDI y la frecuencia de confort visual se analizan para las ocho habitaciones, durante todo el año en un horario de 7:00 h a 17:00 h. Se establece el nivel mínimo de iluminación en 50 lux el cual permite distinguir el área de tránsito y desplazarse caminando, se establece el nivel máximo de iluminación en 1,000 lux el cual permite una alta distinción de detalles, de acuerdo a la norma NOM-025-STPS-2008. La iluminación en el eje “Y”, en la sección “X4”, y en el eje “X”, en la sección “Y0”, se evalúa para el día 15 de cada mes a las 12:00 h, se eligen estos días al ubicarse a la mitad de cada mes, el comportamiento lumínico se compara con el resto de los días del mes para corroborar que presenten un comportamiento representativo, por lo que para los meses de enero y mayo se eligió el día 17 y para julio y septiembre el día 16. El análisis en los días elegidos puede presentar errores al no ser un análisis promedio mensual, sin embargo se realiza de esta manera únicamente para dar una idea del comportamiento lumínico en cada mes.

En un análisis preliminar de iluminación para las ocho habitaciones con las ventanas propuestas en el capítulo 3, de 1.2 metros de alto por 2.20 metros de largo ubicada a 0.90 metros del piso, tomando en cuenta la protección solar del alero de 1.20 metros con un ángulo de altura solar de protección de 45° para las ventanas al sur en planta alta y de 58° para el resto de las ventanas, se encontró una importante sobre iluminación en la parte de la habitación más cercana a la ventana en todas las habitaciones, alcanzando niveles de 4000 lux, muy por encima del límite máximo establecido de 1000 lux. Para reducir el efecto de sobre iluminación se coloca una maceta de de 0.40 metros de alto en el extremo del alero con la función de protección solar, figura 4-4. Se reduce la sobre iluminación en la parte cercana a la ventana y se redimensiona el largo de la ventana a 3.10 metros para evitar la sub iluminación en la parte más alejada de la ventana.

Las macetas como protección solar generan un ángulo de altura solar de protección de 51° para las ventanas en planta baja y sur en planta baja. Mientras que, para las ventanas en la fachada sur en planta alta generan un ángulo de 41° , figura 4-5.

En la figura 4-6 se muestra la gráfica solar para las ventanas en la fachada norte con la maceta como protección. Se observa que la protección aumenta para los meses de abril hasta agosto un cuarto de hora por la mañana y otro por la tarde. Para las ventanas ubicadas en la fachada sur en planta baja, figura 4-7, la protección aumenta cubriendo el mes de enero a partir de las 10:30 h hasta la 13:30 h y el mes de febrero a partir de las 8:30 h hasta las 16:00 h. En las ventanas ubicadas en la fachada sur en planta alta, figura 4-8, la protección aumenta en los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre media hora en la mañana y media hora en la tarde. Las macetas como protecciones producen un ligero cambio en la sombra que generan sobre las ventanas, sin embargo, su efecto es de gran importancia en los niveles de iluminación dentro de las habitaciones.

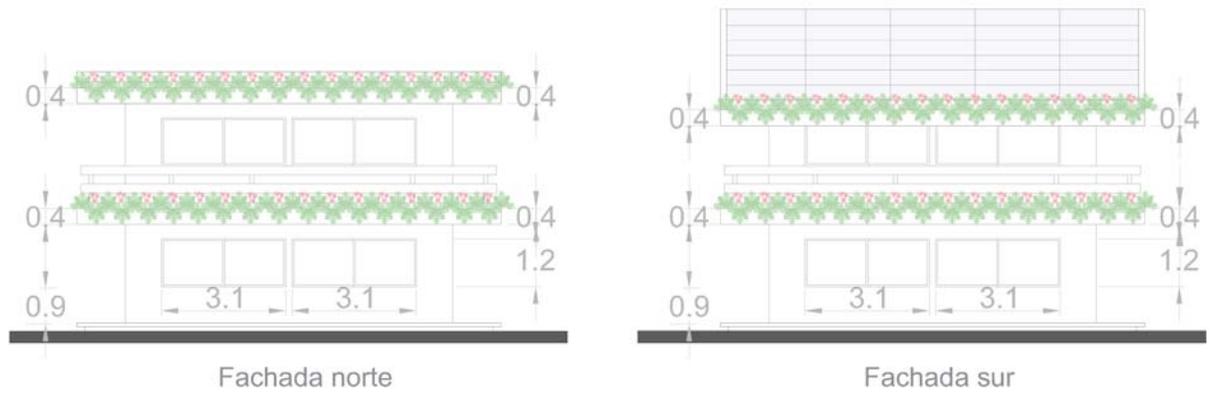


Figura 4-4: Redimensionamiento de ventanas con protección solar. Medidas en metros.

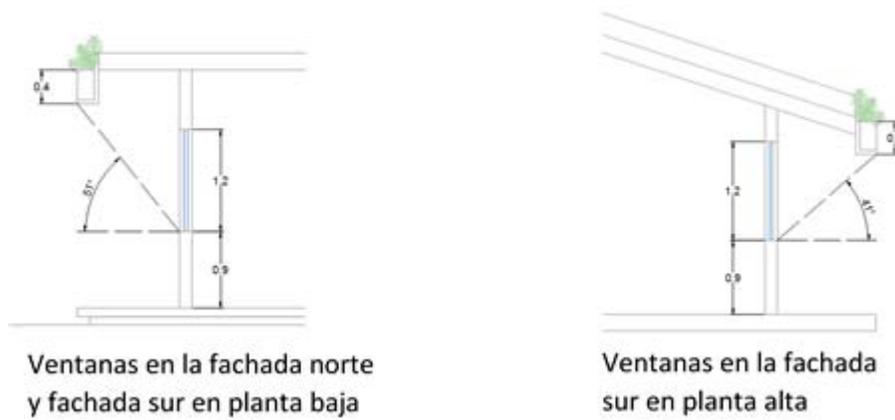


Figura 4-5: Ángulos de protección con la maceta. Medidas en metros.

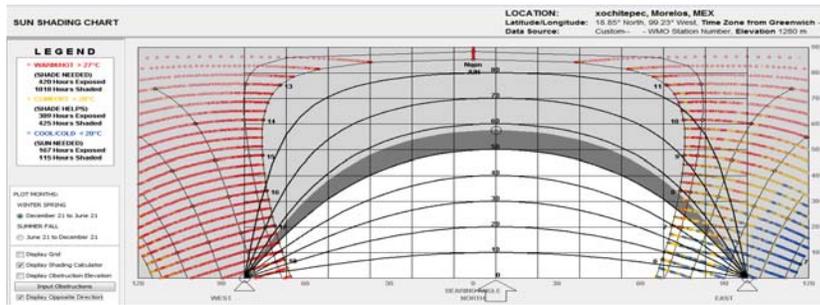


Figura 4-6: Protección que proporcionan las macetas en las ventanas al norte. Área gris claro: sombreado que proporcionan los aleros. Gris oscuro: protección que aumenta con la maceta.

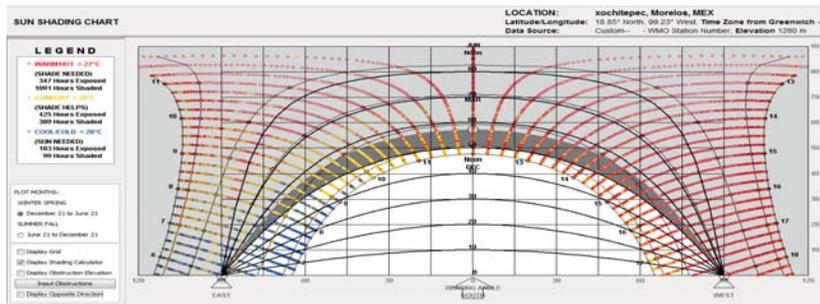


Figura 4-7: Protección que proporcionan las macetas en las ventanas al sur en planta baja. Área gris claro: sombreado que proporcionan los aleros. Gris oscuro: protección que aumenta con la maceta.

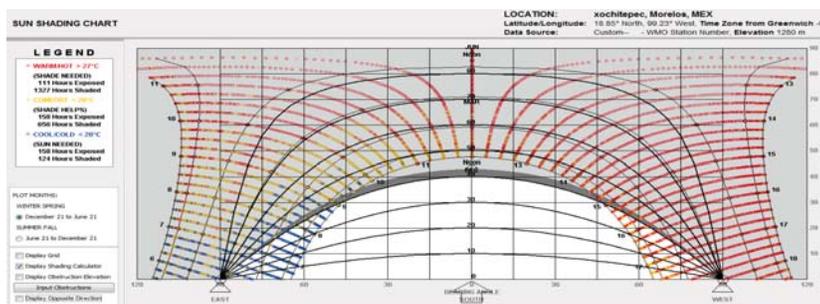


Figura 4-8: Protección que proporcionan las macetas en las ventanas al sur en planta alta. Área gris claro: sombreado que proporcionan los aleros. Gris oscuro: protección que aumenta con la maceta.

El análisis lumínico comienza con la comparación de la iluminación proporcionada por la ventana original y la ventana modificada en todas las habitaciones. Para esto se utiliza la frecuencia de confort visual y la iluminación en el eje “Y” en la sección “X4”. El análisis continúa con los resultados de la iluminación generada por las ventanas modificadas en las ocho habitaciones, para el cual se analizan los mapas UDI y la iluminación en el eje “Y”, en la sección “X4”, y en el eje “X”, en la sección “Y0”. Finalmente se evalúa la iluminación en las habitaciones con la ventana ubicada en la fachada norte al agregar el módulo 2 de habitaciones, sobre las cuales genera sombra, para lo cual se utiliza la frecuencia de confort visual para comparar la iluminación.

Para el análisis térmico, cuya metodología se presenta en la siguiente sección, solo se consideran las ventanas modificadas.

4.2. Metodología para análisis térmico

Para el análisis térmico en SketchUp a través de OpenStudio [29], al modelo realizado se le agregan las condiciones de frontera de exterior para los muros exteriores y azotea, de superficie para los muros interiores y entrepiso, se utiliza la condición de frontera adiabática para el piso ya que no se tienen datos de las temperaturas del suelo, figura 4-9. Se asigna una zona térmica distinta para cada baño y cada habitación, figura 4-10.

El modelo realizado se exporta a un archivo .idf para ser simulado en EnergyPlus [14]. Se utiliza el mismo archivo de clima que en el capítulo 3, generado por el programa Meteonorm [19]. El archivo .idf se corre mediante el EP-Launch del programa EnergyPlus [14]. Para las simulaciones no se considera la ventilación natural, se supone que las ventanas se encuentran cerradas en todo momento. Se considera una infiltración la cual se simula mediante 0.7 cambios de aire por hora. En la tabla 4-4 se muestran las consideraciones bajo las cuales se realiza la simulación.

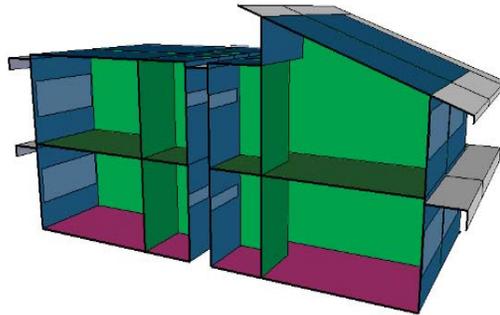


Figura 4-9: Condiciones de frontera del modelo. Verde: Condición de frontera de superficie. Azul: condición de frontera de exterior. Rosa: condición de frontera adiabática.

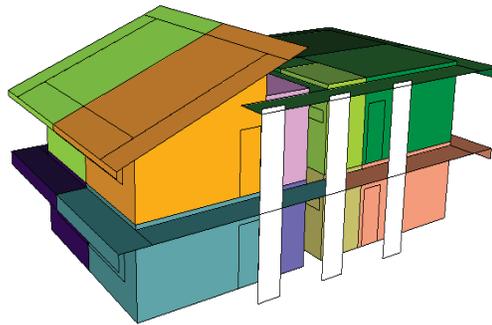


Figura 4-10: Zonas térmicas del modelo. Cada color representa una zona térmica diferente.

Tabla 4-4: Objetos utilizados para la simulación en EnergyPlus.

Lista de clase (Class List)	Campo (Field)	Objeto (Object)
Simulation Parameters	Version	
	Version Identifier	8.9
Simulation Parameters	SimulationControl	
	Run Simulation for Weather File Run Periods	Yes
Simulation Parameters	Building	
	Name	ModuloHotel
	North Axis deg	0
	Maximum Number of Warmup Days	25
	Minimum Number of Warmup Days	15
Simulation Parameters	ShadowCalculation	
	Calculation Method	AverageOverDaysInFrequency
	Calculation Frequency	20
	Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations	15000
Simulation Parameters	SurfaceConvectionAlgorithm	
	Algorithm	TARP
Simulation Parameters	HeatBalanceAlgorithm	
	Algorithm	ConductionTransferFunction
	Surface Temperature Upper Limit C	200
Simulation Parameters	Timestep	
	Number of Timesteps per Hour	6
Location and Climate	Site:Location	
	Name	Xochitepec
	Latitude deg	18.85
	Longitude deg	-99.23
	Time Zone hr	-6
	Elevation m	1280
Location and Climate	RunPeriod	
	Begin Month	1
	Begin Day of Month	1
	End Month	12
	End Day of Month	31
	Day of Week for Start Day	Sunday
	Use Weather File Rain Indicators	Yes
	Number of Times Runperiod to be Repeated	1
Schedules	Schedule Type Limits	
	Name	Continuo
	Numeric Type	Continuous
Schedules	Schedule: Compact	
	Name	Constante
	Schedule Type Limits Name	Continuo
	Field 1	Through:12/31
	Field 2	For: AllDays
	Field 3	Until: 24:00
Surface Construction Elements	Material	
	Name	concreto
	Roughness	MediumRough
	Thickness m	0.15
	Conductivity W/m-K	1.35
	Density kg/m3	1800
	Specific Heat J/kg-K	1000
	Thermal Absorptance	0.9
	Solar Absorptance	0.7
	Visible Absorptance	0.7
	Name	impermeabilizante
	Roughness	Smooth
	Thickness m	0.005
	Conductivity W/m-K	0.16
	Density kg/m3	1000
	Specific Heat J/kg-K	600
	Thermal Absorptance	0.9
	Solar Absorptance	0.2
	Visible Absorptance	0.2

		Name Roughness Thickness m Conductivity W/m-K Density kg/m3 Specific Heat J/kg-K Thermal Absorptance Solar Absorptance Visible Absorptance Name Roughness Thickness m Conductivity W/m-K Density kg/m3 Specific Heat J/kg-K Thermal Absorptance Solar Absorptance Visible Absorptance Name Roughness Thickness m Conductivity W/m-K Density kg/m3 Specific Heat J/kg-K Thermal Absorptance Solar Absorptance Visible Absorptance Name Roughness Thickness m Conductivity W/m-K Density kg/m3 Specific Heat J/kg-K Thermal Absorptance Solar Absorptance Visible Absorptance	mortero Rough 0.015 1 1800 1000 0.9 0.2 0.2 tabique Smooth 0.12 0.7 1970 800 0.9 0.7 0.7 yeso Smooth 0.015 0.16 1000 600 0.9 0.7 0.7 madera MediumSmooth 0.0254 0.15 608 1630 0.9 0.5 0.5
Surface Construction Elements	WindowMaterial:SimpleGlazingSystem	Name U-Factor W/m2-K Solar Heat Gain Coefficient Visible Transmittance	vidrio3mm 0.33 0.56 0.7
Surface Construction Elements	Construction	Name Outside Layer Layer 2 Name Outside Layer Name Outside Layer Layer 2 Layer 3 Name Outside Layer Layer 2 Layer 3	azotea impermeabilizante concreto entrepiso concreto muroExterior mortero tabique yeso muroInterior yeso tabique yeso

		Name Outside Layer	ventana vidrio3mm
		Name Outside Layer	Puerta madera
Thermal Zones and Surfaces	Zone	Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name Name	TZ1 TZ2 TZ3 TZ4 TZ5 TZ6 TZ7 TZ8 TZB1 TZB2 TZB3 TZB4 TZB5 TZB6 TZB7 TZB8
Thermal Zones and Surfaces	BuildingSurface:Detailed	Surface Type Construction Name Outside Boundary Condition Sun Exposure Wind Exposure Surface Type Construction Name Outside Boundary Condition Sun Exposure Wind Exposure Surface Type Construction Name Outside Boundary Condition Sun Exposure Wind Exposure Surface Type Construction Name Outside Boundary Condition Sun Exposure Wind Exposure	Wall muroExterior Outdoors SunExposed WindExposed Wall muroInterior Surface NoSun NoWind Floor entrepiso Adiabatic NoSun NoWind Roof azotea Outdoors SunExposed WindExposed
Thermal Zones and Surfaces	FenestrationSurface:Detailed	Surface Type Construction Name Surface Type Construction Name	Door Puerta Window ventana
Zone Air Flow	Zone Infiltration: DesignFlowRate	Name Schedule Name Design Flow Rate Calculation Method Air Changes Per Hour	Infiltracion Constante AirChanges/Hour 0.7
Node-Branch Management	OutdoorAir:Node	Name	Model Outdoor Air Node

4.2.1. Metodología para evaluar el análisis térmico sin uso de aire acondicionado

Para evaluar el desempeño térmico sin uso de aire acondicionado se analiza la temperatura del aire al interior de las habitaciones, la cual se obtiene usando la variable de Zone Mean Air Temperature en EnergyPlus [14] y la temperatura del aire exterior, usando la variable Site Outdoor Air Drybulb Temperature. Los parámetros utilizados para evaluar son la temperatura máxima promedio mensual, la temperatura mínima promedio mensual y la temperatura media promedio mensual. Se utiliza también el factor de decremento promedio mensual de acuerdo a la ecuación 4-1.

$$FD = \frac{T_{i_{max}} - T_{i_{min}}}{T_{a_{max}} - T_{a_{min}}} \quad (4-1)$$

Ecuación 4-1. Factor de decremento FD. $T_{i_{max}}$ (°C): temperatura máxima al interior. $T_{i_{min}}$ (°C): temperatura mínima al interior. $T_{a_{max}}$ (°C): temperatura exterior máxima. $T_{a_{min}}$ (°C) temperatura exterior mínima.

En la presentación de los resultados de temperatura máxima, mínima y media promedio mensual para todos los meses se muestra la temperatura de confort mensual, la cual se establece bajo el método adaptativo propuesta por Humphrey y Nicol[31], definida como la temperatura en que las personas tienen una sensación térmica neutral la cual depende del promedio de la temperatura exterior de acuerdo a la ecuación 4-2, presentando también el rango de temperatura de confort, el cual se encuentra entre la temperatura máxima de confort, ecuación 4-3 y la temperatura mínima de confort, ecuación 4-3. Los valores de la amplitud de la zona de confort ΔT_c dependen de la amplitud de la oscilación promedio de la temperatura de aire exterior ΔT_a de acuerdo a los rangos definidos por Morillón [32]. Los valores de las temperaturas y de la amplitud de la zona de confort de muestran en la tabla 4-5.

$$T_c = 13.5^{\circ}C + 0.54T_{ma} \quad (4-2)$$

Ecuación 4-2. Temperatura de confort mensual T_c ($^{\circ}C$). T_{ma} ($^{\circ}C$): temperatura exterior media mensual.

$$T_{c_{max}} = T_c + \frac{\Delta T_c}{2} \quad (4-3)$$

Ecuación 4-3. Temperatura máxima de confort $T_{c_{max}}$ ($^{\circ}C$). T_c ($^{\circ}C$): temperatura de confort mensual. ΔT_c ($^{\circ}C$): amplitud de la zona de confort.

$$T_{c_{min}} = T_c - \frac{\Delta T_c}{2} \quad (4-4)$$

Ecuación 4-4. Temperatura mínima de confort $T_{c_{min}}$ ($^{\circ}C$). T_c ($^{\circ}C$): temperatura de confort mensual. ΔT_c ($^{\circ}C$): amplitud de la zona de confort.

Tabla 4-5: Temperatura de confort mensual

	ΔT_a	ΔT_c	$T_{c_{min}}$	T_c	$T_{c_{max}}$
Enero	12.3	2.5	23.9	25.1	26.4
Febrero	13.0	3.0	24.5	26.0	27.5
Marzo	13.7	3.0	25.7	27.2	28.7
Abril	13.3	3.0	26.4	27.9	29.4
Mayo	12.7	3.0	26.6	28.1	29.6
Junio	11.2	2.5	25.4	26.6	27.9
Julio	10.4	2.5	25.2	26.4	27.7
Agosto	10.7	2.5	25.1	26.4	27.6
Septiembre	10.0	2.5	24.6	25.8	27.1
Octubre	10.8	2.5	24.7	26.0	27.2
Noviembre	12.3	2.5	24.3	25.6	26.8
Diciembre	11.9	2.5	23.9	25.1	26.4

4.2.2. Metodología para evaluar el análisis térmico con uso de aire acondicionado

Para el análisis térmico bajo la condición de uso de aire acondicionado se activa en OpenStudio [29] el sistema de aire acondicionado ideal (Ideal Air Loads). Se evalúan con el termostato fijo en 22°C y con el termostato fijo en la temperatura de confort mensual, se crea un horario (Schedule) con el termostato fijo en 22°C para el primer caso y con el termostato fijo en la temperatura de confort para cada mes en el segundo caso. Para este análisis se utiliza el parámetro de cargas térmicas de enfriamiento mediante la variable Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate de EnergyPlus y de calentamiento Zone Ideal Loads Zone Total Heating Rate de EnergyPlus [14].

Se evalúa el comportamiento térmico sin y con aire acondicionado al agregar el módulo 2 de habitaciones para el cual se utilizan los mismos parámetros de evaluación.

4.2.3. Metodología de análisis térmico con cargas térmicas internas

Las simulaciones descritas en los apartados anteriores se realizan sin cargas térmicas internas para evaluar el comportamiento térmico de las habitaciones a causa de las condiciones climáticas. Se espera que el comportamiento térmico varíe a causa de las cargas térmicas internas, dependiendo del número de personas que se encuentren dentro y de las actividades que realicen así como de los equipos que se ocupen al interior de las habitaciones. Se realizan simulaciones bajo la condición de cargas térmicas internas al interior de las habitaciones. Las cargas térmicas utilizadas se muestran en la tabla 4-6, los valores de nivel de actividad son de acuerdo a los recomendados por EnergyPlus [14] en en Input Output Reference [33] y se considera que el 5% de la energía que consume un foco LED se convierte en calor [34]. Las cargas se agregan en el EP-Launch mediante los objetos de personas (People) y luces (Lights).

Tabla 4-6: Add caption

Objeto de EnergyPlus	Número de personas por habitación	Horario en un día	Nivel de actividad por persona (W/persona)
Personas (People)	4	00:00-8:00 h y 21:00-00:00 h	0.72
Personas (People)	4	8:00-21:00 h	180
Objeto de EnergyPlus	Número de luces	Horario en un día	Nivel de iluminación (W/foco)
Luces (Lights)	2	17:00-23:00 h	1.1

Capítulo 5

Resultados

Las simulaciones descritas en el capítulo 4 son utilizadas para generar el análisis de los resultados lumínicos y térmicos del módulo 1 de habitaciones. Se presentan los resultados lumínicos, comenzando por la comparación de la iluminación con la ventana original y la ventana modificada. Se muestran los resultados de iluminación para las habitaciones con la ventana modificada y los resultados de la iluminación en las habitaciones con la ventana en la fachada norte al agregar el módulo 2 de habitaciones. Seguido a los resultados lumínicos se presentan los resultados térmicos sin uso de aire acondicionado, los resultados con uso de aire acondicionado, los resultados con cargar térmicas internas y los resultados al agregar el módulo 2 de habitaciones.

5.1. Resultados lumínicos

Se realiza el análisis de iluminación para las ocho habitaciones del módulo 1. Se muestran los resultados de la frecuencia de confort visual con la ventana original y la ventana modificada, la modificación consiste en agregar una maceta de 0.40 m en el extremo del alero que funciona como protección solar y aumentar la dimension del largo de la ventana a 3.10 m. En la figura

5-1 se observa que la frecuencia de confort visual aumenta en todas las habitaciones con la ventana modificada con valores entre 81 y 86 % en las habitaciones con ventana en la fachada norte y entre 74 y 79 % en las que tiene la ventana en la fachada sur.

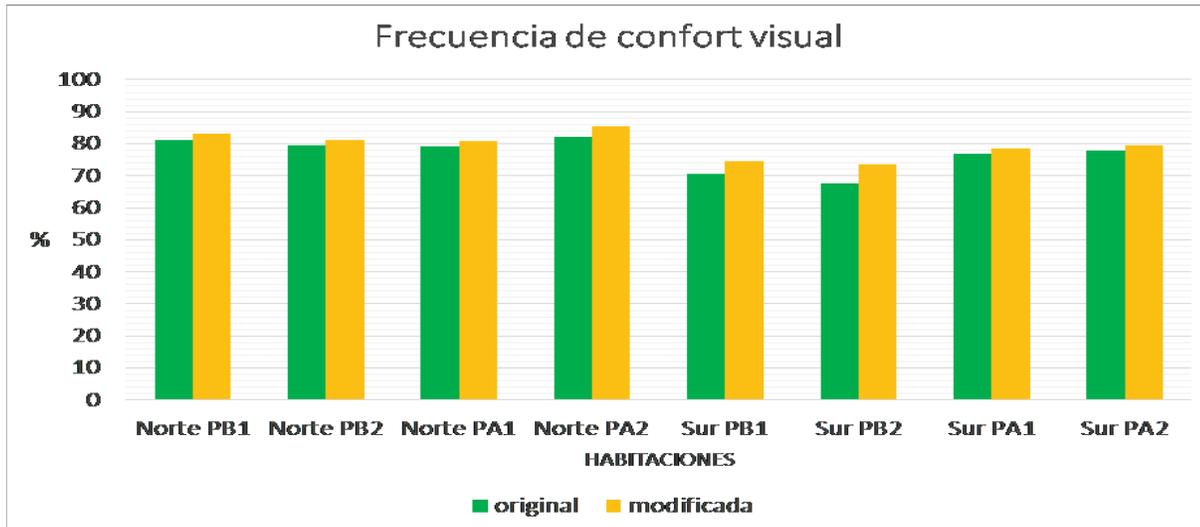


Figura 5-1: Frecuencia de confort visual para las ventanas originales y modificadas en las ocho habitaciones.

Se analiza la iluminación en el eje “Y”, en la sección “X4”, ubicada en medio de la habitación, para la habitación con la ventana en la fachada norte el día 17 de mayo, figura 5-2 y para la habitación con ventana al sur el día 17 de enero a las 12:00 h, figura 5-3. En la figura 5-2, se observa que en el caso con la ventana original en las secciones “Y6” y “Y7” la iluminación supera el nivel máximo de iluminación establecido con un valor máximo de 2,050 lux, mientras que con la ventana modificada la sección “Y6” se encuentra en el nivel máximo de iluminación y lo sobrepasa en la sección “Y7” con un valor máximo de 1,500 lux. Se observa en la gráfica pequeña una ampliación de la gráfica de las secciones “Y0” a “Y4” en donde para la ventana modificada presenta una iluminación con valores de 200 lux en las secciones más alejadas de la ventana encontrándose por arriba del nivel mínimo de iluminación establecido en todos los puntos.

En la figura 5-3, se observa que la iluminación para el caso con ventana original supera el nivel máximo de iluminación en la sección “Y5”, “Y6” y “Y7” con un valor máximo de 4,100 lux, mientras que con la ventana modificada la sección “Y6” se encuentra en el nivel máximo establecido y supera este nivel únicamente en la sección “Y7” con un valor máximo de 1,650 lux. En la gráfica ampliada, se observa que la iluminación se encuentra por arriba de los 100 lux en la parte más alejada de la ventana, por arriba del nivel mínimo establecido en todos los puntos. La ventana modificada reduce la sobre iluminación en las secciones cercanas a la ventana teniendo buena iluminación en las secciones alejadas de esta, por lo que se realiza el resto del análisis lumínico con las ventanas modificadas.

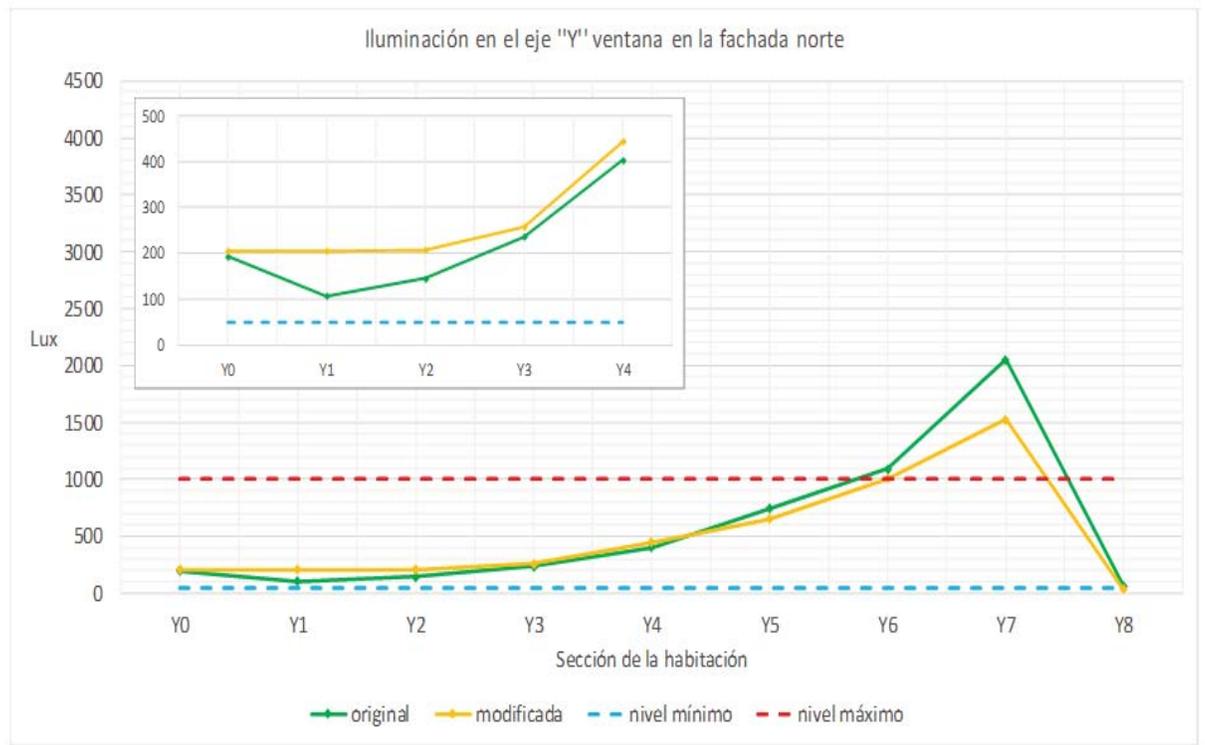


Figura 5-2: Iluminación en el eje “Y” en “X4” en la habitación con ventana al norte en planta alta el día 17 de mayo.

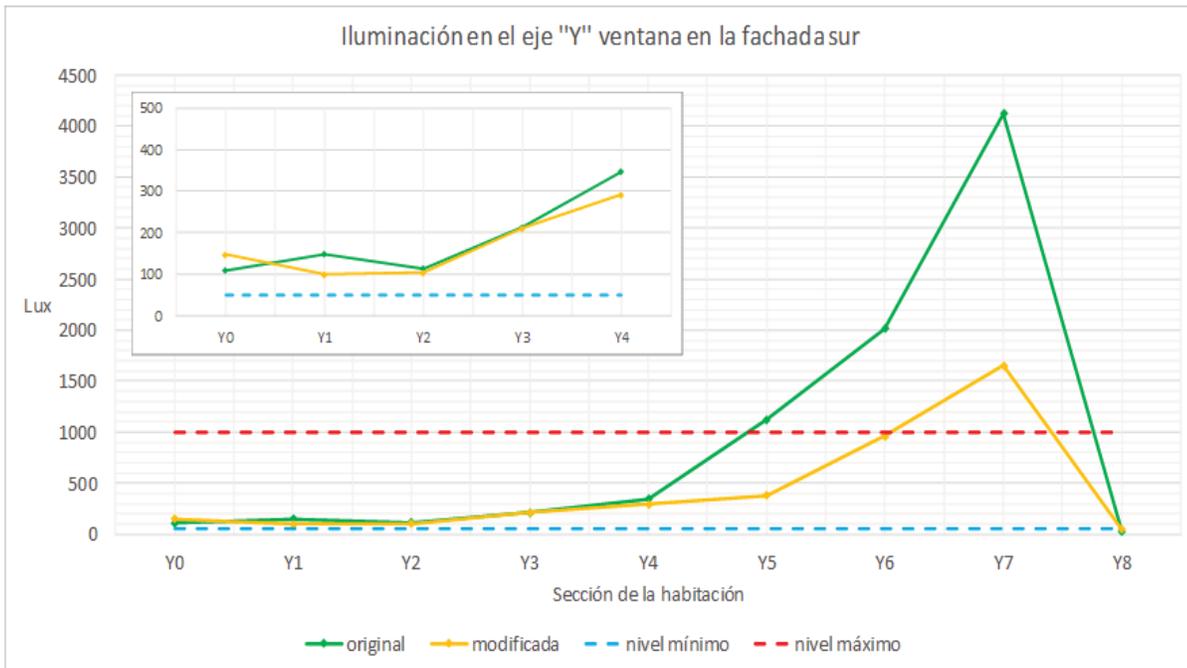


Figura 5-3: Iluminación en el eje “Y” en medio de la habitación con ventana al sur en planta alta el día 17 de enero.

Se analizan los mapas de iluminación UDI con la ventana modificada. En las figuras 5-4 y 5-5 se observa que las habitaciones con ventana en la fachada norte se encuentran la mayor parte del tiempo con iluminación útil, amarillo en el mapa del centro, con excepción de la parte más cercana a la ventana de cada habitación que se encuentra sub iluminada, marcado en amarillo en mapa de la izquierda, y una sobre iluminada, rojo en mapa de la derecha. En las figuras 5-6 y 5-7 correspondientes a las habitaciones con la ventana en la fachada sur se observa sub iluminación a partir de la mitad de la habitación hacia el lado contrario de la ventana, marcado en el mapa izquierda, debido a los árboles y protecciones necesarias para impedir los altos niveles de sobre iluminación y en la parte más cercana a la ventana. Se presenta sub iluminación cerca de la ventana, marcado en el mapa derecha, por lo tanto, la iluminación útil, amarillo en el mapa del centro, es menor en estas habitaciones.

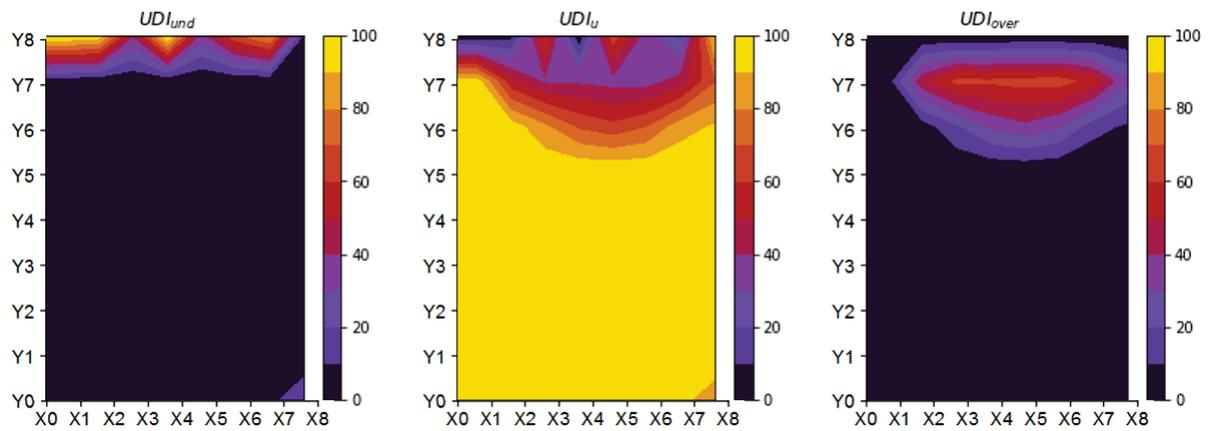


Figura 5-4: Mapas UDI para la habitación con ventana al norte en planta baja. Izquierda: mapa UDI sub iluminado. Centro: mapa UDI útil. Derecha: mapa UDI sobre iluminado. Escala de color en porcentaje.

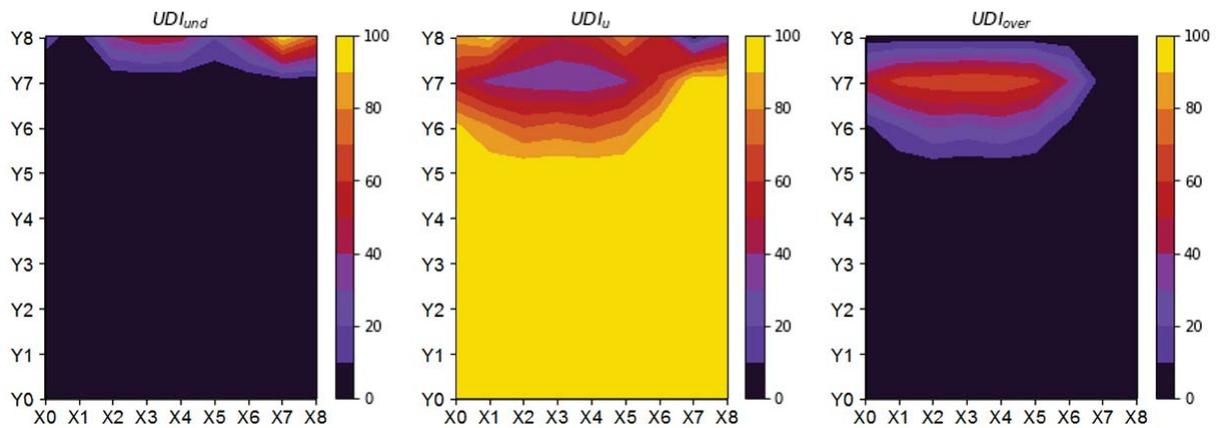


Figura 5-5: Mapas UDI para la habitación con ventana al norte en planta alta. Izquierda: mapa UDI sub iluminado. Centro: mapa UDI útil. Derecha: mapa UDI sobre iluminado. Escala de color en porcentaje.

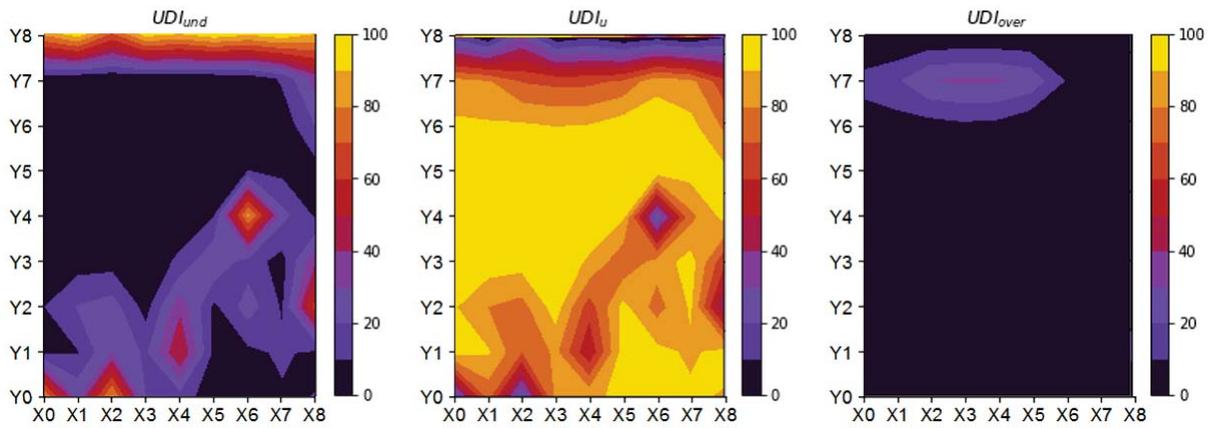


Figura 5-6: Mapas UDI para la habitación con ventana al sur en planta baja. Izquierda: mapa UDI sub iluminado. Centro: mapa UDI útil. Derecha: mapa UDI sobre iluminado. Escala de color en porcentaje.

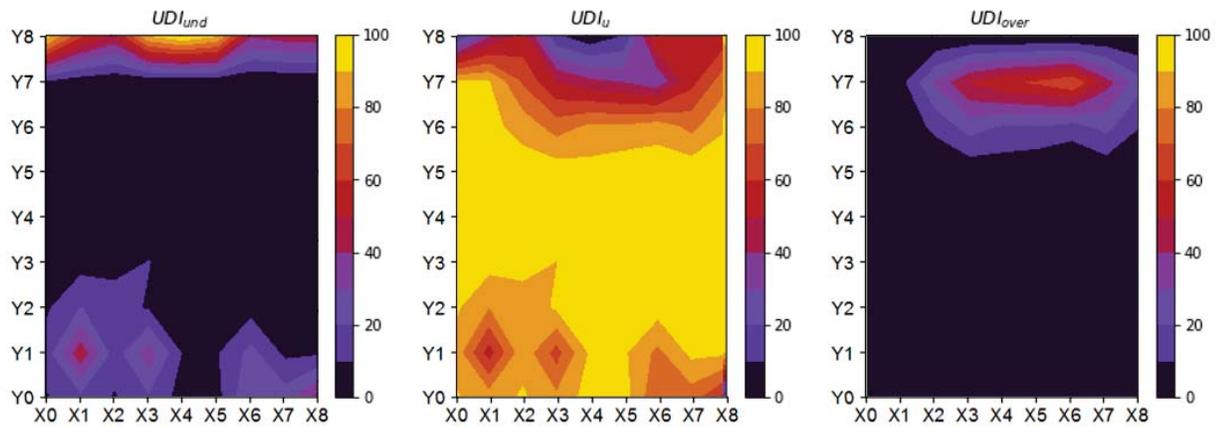


Figura 5-7: Mapas UDI para la habitación con ventana al sur en planta alta. Izquierda: mapa UDI sub iluminado. Centro: mapa UDI útil. Derecha: mapa UDI sobre iluminado. Escala de color en porcentaje.

En la figura 5-8 y 5-9 se muestra la iluminación en el eje “Y”, en la sección “X4”, ubicada en medio de la habitación para el día 15 de cada mes, con la consideración del día 17 de enero y mayo y el día 16 de julio y septiembre a las 12:00 h para las habitaciones con ventana en la fachada norte y sur en planta alta, al ser las que presentan mayor sobre iluminación. Se observa que la iluminación se encuentra por debajo del nivel máximo establecido en las secciones de la habitación de “Y0” a “Y5” para ambos casos en todos los meses. La iluminación supera el nivel máximo establecido en la habitación con la ventana en la fachada norte, en la sección “Y6” en los meses de abril hasta agosto y en la sección “Y7” en todos los meses con excepción de noviembre. En la habitación con la ventana al sur se encuentra por arriba de los 1,000 lux en la sección “Y6” únicamente en los meses de enero y diciembre y en la sección “Y7” en todos los meses. En las gráficas pequeñas se observa que la iluminación se encuentra por arriba de los 100 lux en todos los puntos en ambos casos.

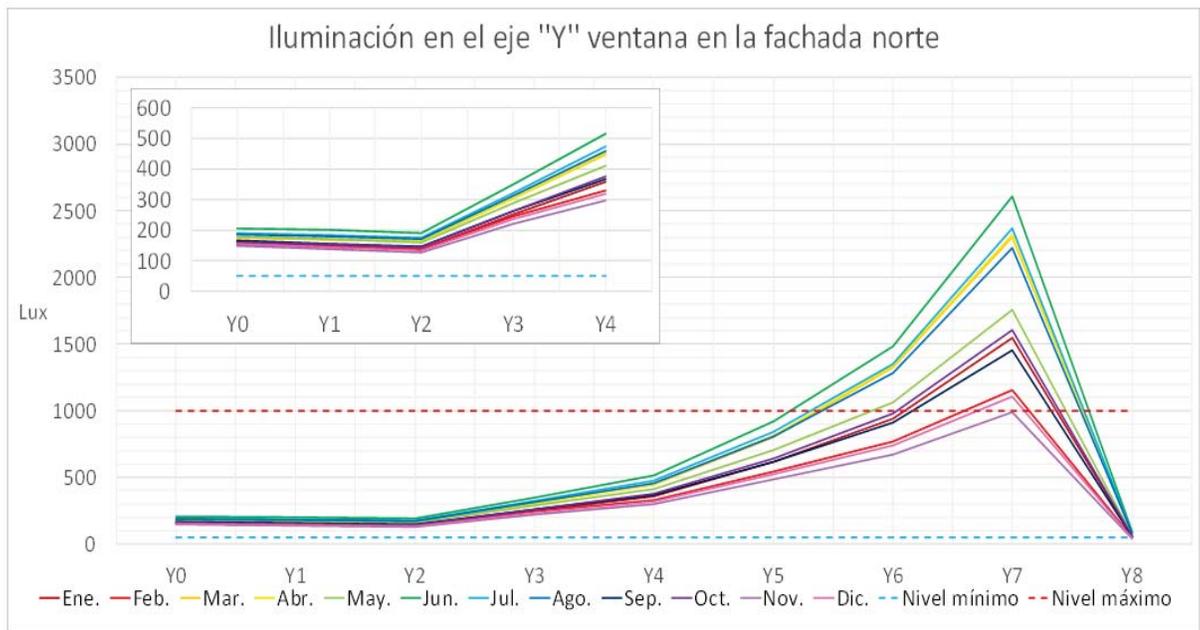


Figura 5-8: Iluminación en el eje “Y” habitación con la ventana en la fachada norte en planta alta.

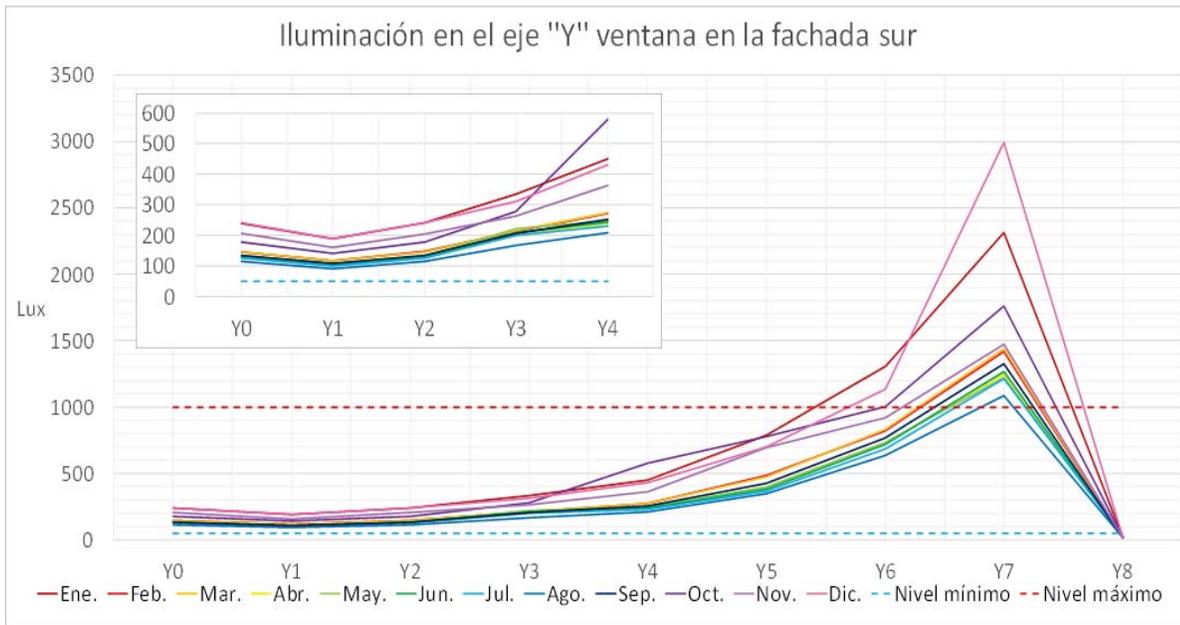


Figura 5-9: Iluminación en el eje “Y” habitación con la ventana en la fachada sur en planta alta.

En la figura 5-10 y 5-11 se muestra la iluminación en el eje “X” en la sección “Y0” ubicada en el extremo opuesto a la ventana para el día 15 de cada mes, con la consideración del día 17 de enero y mayo y el día 16 de julio y septiembre a las 12:00 h para las habitaciones con ventana al norte y al sur en planta baja, al ser la que presentan mayor sub iluminación. Se observa que la iluminación con la ventana en la fachada norte, figura 5-10, se encuentra por arriba de nivel mínimo establecido en todos los meses. La iluminación se encuentra por arriba de los 100 lux en las secciones de la “X0” a la “X6”. La iluminación en el eje “X” con la ventana en la fachada sur, figura 5-11. Se encuentra de por arriba de los 50 lux en todos los meses en todos los puntos, con excepción de la sección “X6” en marzo a septiembre.

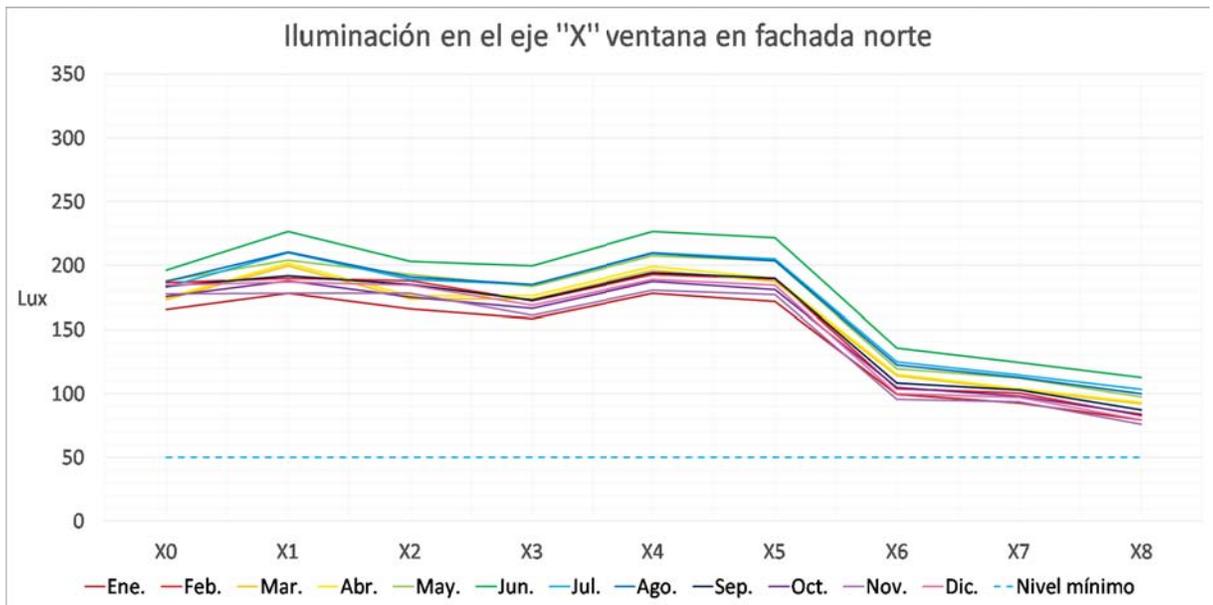


Figura 5-10: Iluminación en el eje "X" habitación con ventana al norte en planta baja.

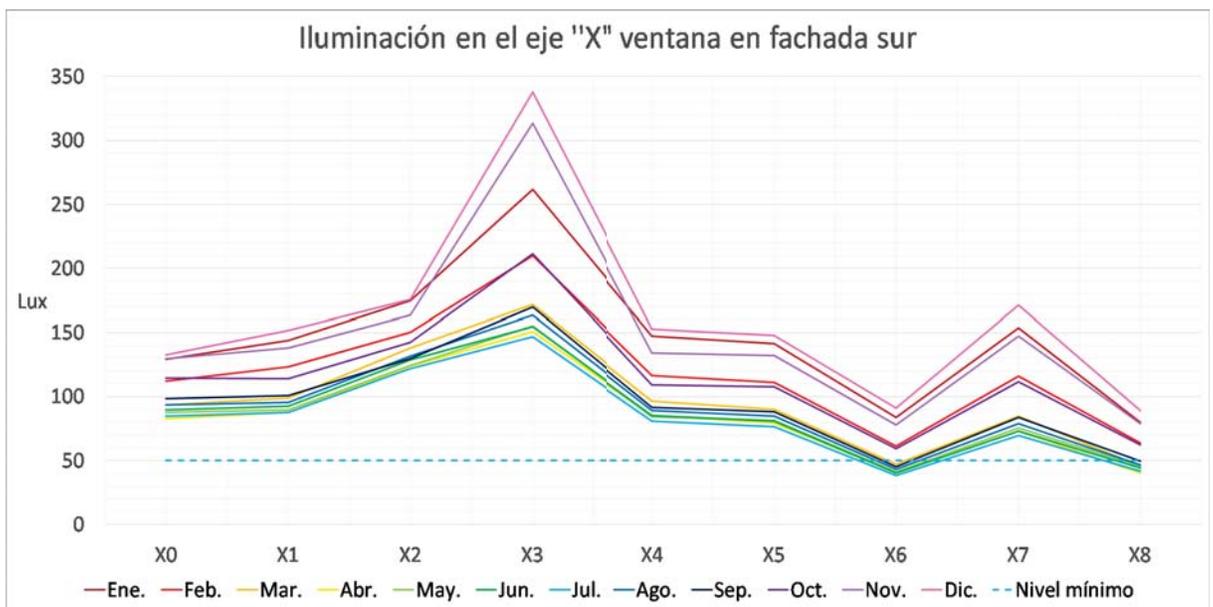


Figura 5-11: Iluminación en el eje "X" habitación con ventana al sur en planta baja.

En la figura 5-12 se muestran los resultados de la frecuencia de confort visual en las habitaciones con la ventana en la fachada norte al agregar el módulo 2 de habitaciones, ubicado del lado oeste produciendo sombra en estas habitaciones. Se observa que la frecuencia de confort visual mejora en 3% para las habitaciones en planta baja y 2.3 y 0.82% para las habitaciones en planta alta. Al agregar el módulo 2, las habitaciones al norte tienen una mejor iluminación, con un porcentaje de frecuencia de confort visual entre 84 y 81%, debido a que se reduce la sobre iluminación.

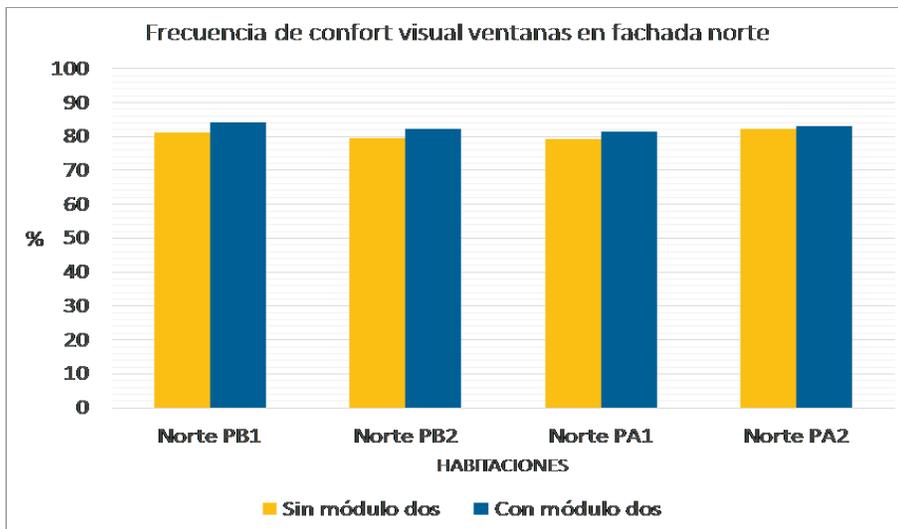


Figura 5-12: Frecuencia de confort visual para las habitaciones con la ventana en la fachada norte.

La iluminación en la mayor parte de las habitaciones se encuentra dentro de los rangos de iluminación útil, existe sobre iluminación en la parte cercana a la ventana, las ventanas modificadas y las protecciones propuestas permiten la disminución de sobre iluminación y provocan sub iluminación en la parte más alejada de la ventana en las habitaciones con la ventana en la fachada sur. Las ventanas modificadas y las protecciones propuestas serán utilizadas en el modelo para la simulación térmica al proporcionar una mejor iluminación.

5.2. Resultados térmicos

El análisis térmico se realiza para las ocho habitaciones del módulo 1 en la primera etapa que considera solo la existencia del módulo de administración y servicios y el módulo 1 de habitaciones. Se muestran los resultados sin aire acondicionado, los resultados con el uso de aire acondicionado y los resultados al agregar cargas internas, finalmente se muestran los resultados al agregar el módulo 2 de habitaciones.

5.2.1. Resultados térmicos sin uso de aire acondicionado

En la figura 5-13, se muestran los resultados de la temperatura máxima promedio mensual del aire al interior en las ocho habitaciones, la temperatura máxima promedio mensual del aire al exterior y el rango de temperatura de confort mensual. Se observa que la temperatura máxima al exterior es mayor que la correspondiente en todas las habitaciones, en todos los meses. Las temperaturas máximas alcanzadas en todas las habitaciones son en el mes de mayo con 29 °C, siendo la temperatura máxima promedio exterior en este mes de 33°C. Se observa que las temperaturas máximas promedio no rebasan el nivel máximo de temperatura de confort.

Los resultados de la temperatura mínima promedio mensual del aire al interior en las ocho habitaciones, la temperatura mínima promedio mensual del aire al exterior y el rango de temperatura de confort se muestran en la figura 5-14. Se observa que la temperatura mínima promedio se encuentra por debajo del nivel mínimo de confort en todos los meses en todas las habitaciones. Se observa que la temperatura mínima al exterior es menor que la temperatura mínima al interior de las habitaciones en todos los meses. El valor más bajo de temperatura mínima promedio en las habitaciones sucede en el mes de febrero con un valor de 18 °C en las habitaciones con ventana al norte en planta alta, cuando la mínima al exterior es de 15 °C. En las habitaciones en planta alta con ventana al norte se reportan las menores temperaturas

mínimas en cada mes, sobre el techo de estas habitaciones no se colocan módulos fotovoltaicos, por lo que la superficie tiene un importante intercambio radiativo con el cielo en las noches.

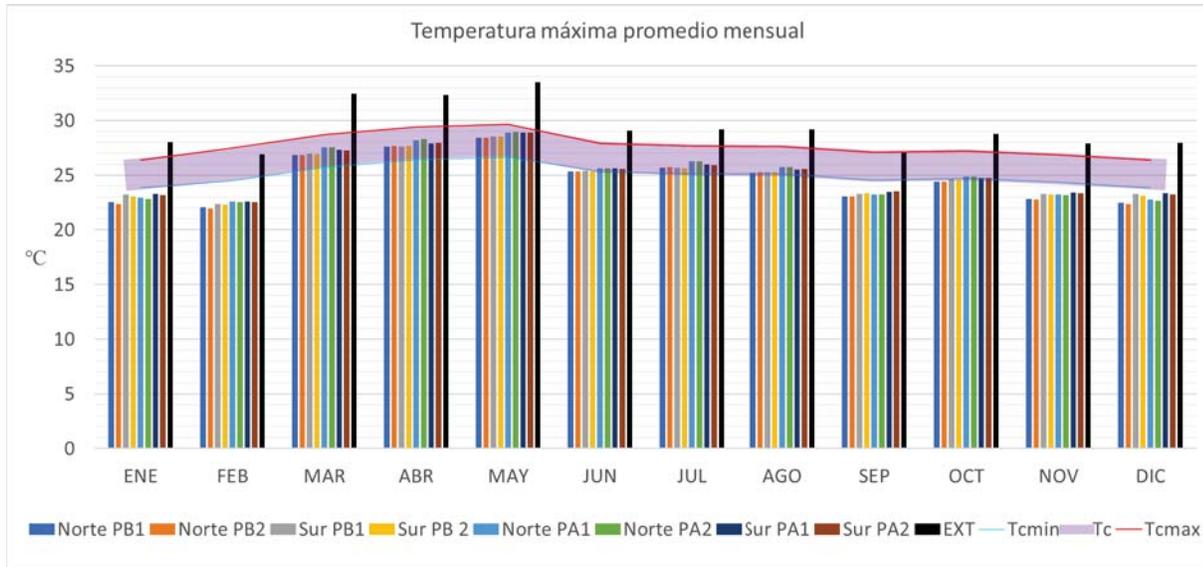


Figura 5-13: Temperatura máxima promedio mensual en °C.

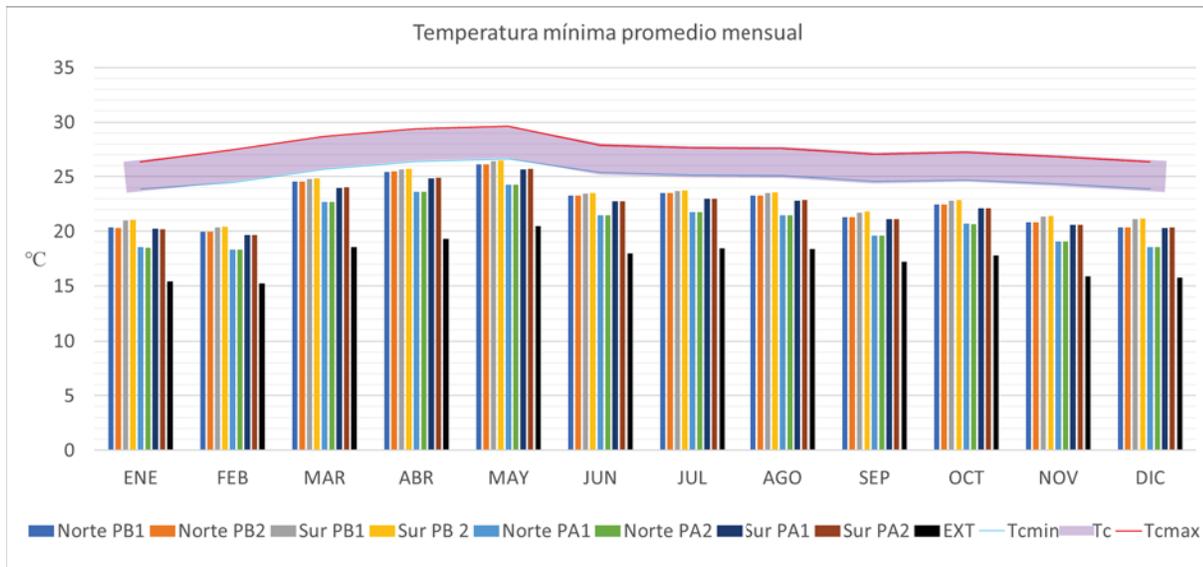


Figura 5-14: Temperatura mínima promedio mensual en °C.

Los resultados de la temperatura media promedio mensual del aire al interior de las ocho habitaciones y al exterior y el rango de temperatura de confort, se muestran en la figura 5-15. Se observa que la temperatura media promedio mensual se encuentra por debajo de la temperatura mínima de confort en todas las habitaciones en todos los meses con excepción de los meses de abril y mayo, encontrándose dentro del rango de temperatura de confort.

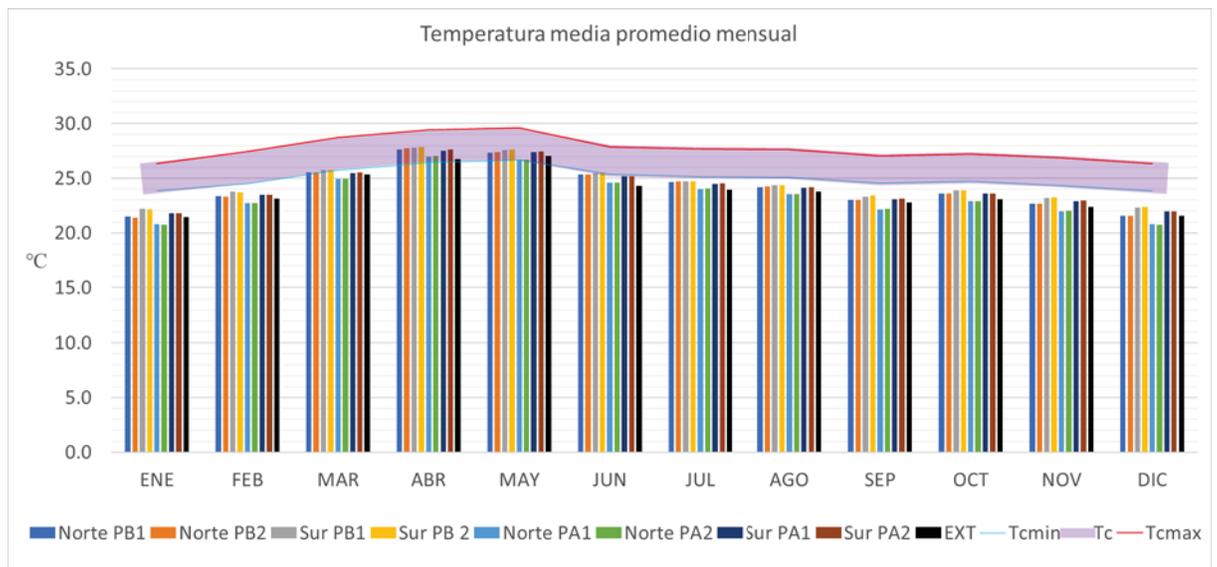


Figura 5-15: Temperatura media promedio mensual en °C.

En la figura 5-16 se muestran los resultados del factor de decremento promedio mensual para las ocho habitaciones. Se observa que los factores de decremento son menores en las habitaciones en planta baja que en planta alta. Presentando los valores más altos en el mes de julio en las habitaciones al norte con 0.22 y en planta baja y 0.37 en planta alta. Las habitaciones con la ventana en la fachada norte en planta alta presentan los valores más altos de factor de decremento en cada mes.

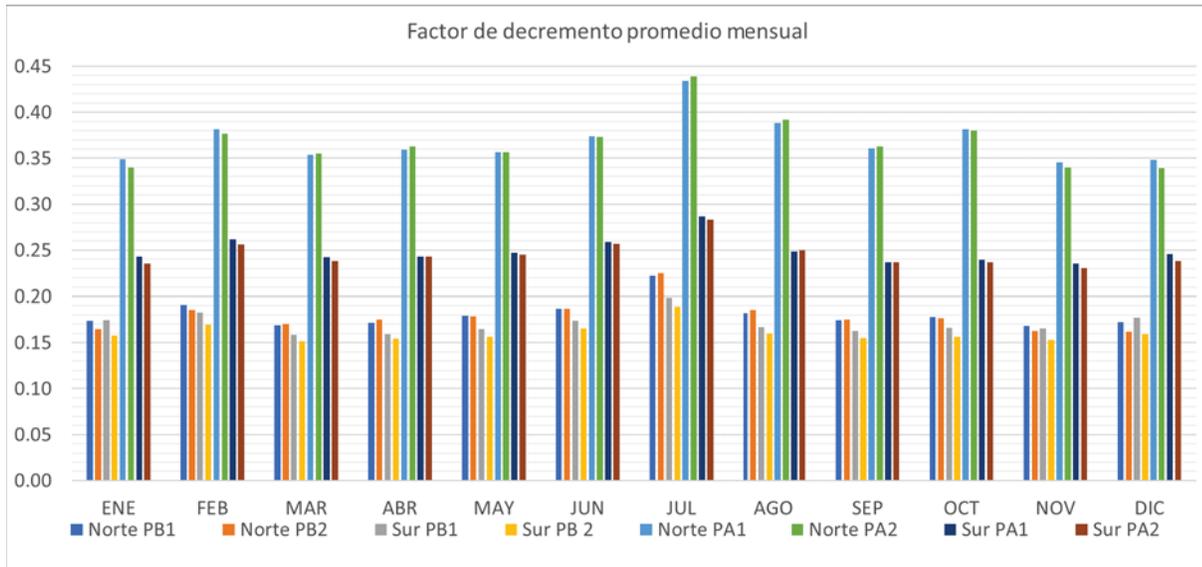


Figura 5-16: Factor de decremento promedio mensual.

5.2.2. Resultados térmicos con uso de aire acondicionado

Se muestran los resultados de la simulación para el módulo 1 con uso de aire acondicionado en las ocho habitaciones. En la figura 5-17 se muestran los resultados de las cargas térmicas de enfriamiento promedio en las ocho habitaciones en la condición con uso de aire acondicionado con el termostato fijo en 22°C. Se observa que las mayores cargas de enfriamiento se presentan en las habitaciones al sur en planta alta, presentando el mayor valor en el mes de mayo, con 17,300 Wh/día en la habitación Sur PA2.

En la figura 5-18 se muestran las cargas térmicas de calentamiento promedio con la condición de uso de aire acondicionado con el termostato fijo en 22°C. Se observa que las mayores cargas se presentan en las habitaciones al norte en planta alta, presentando el valor más alto es 5,200 Wh/día en el mes de enero. Las habitaciones en planta alta presentan mayores cargas de calentamiento que las de planta baja en cada mes. Los meses de abril y mayo presentan los cargas en las habitaciones al norte en planta alta con valores de 300 Wh/día.

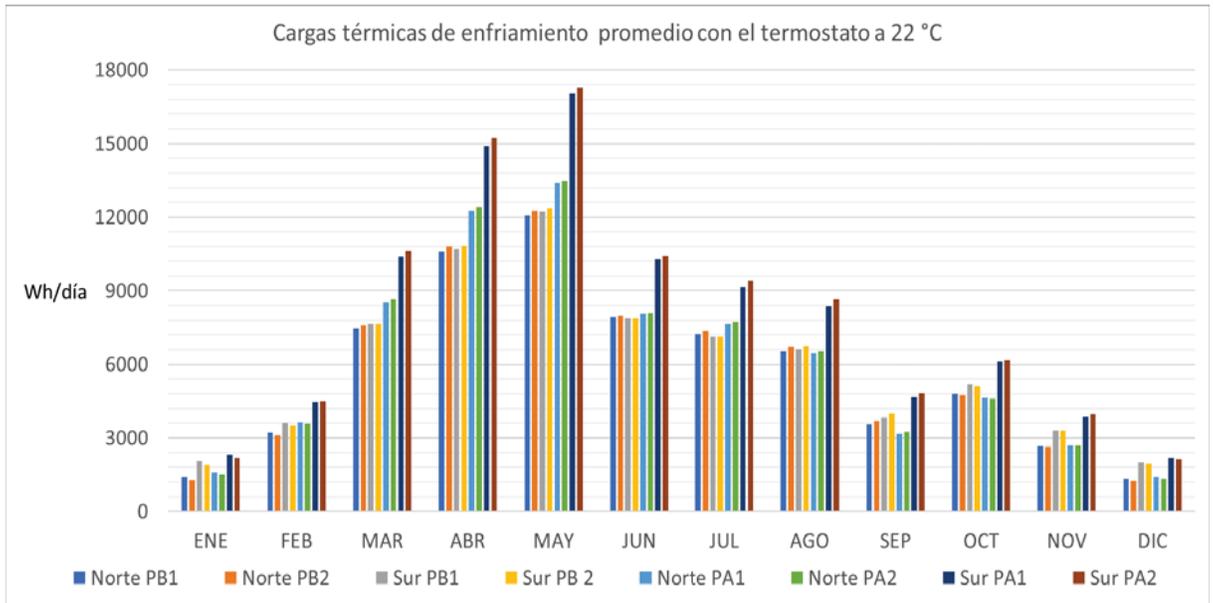


Figura 5-17: Cargas térmicas de enfriamiento promedio con el termostato en 22 °C, en Wh/día.

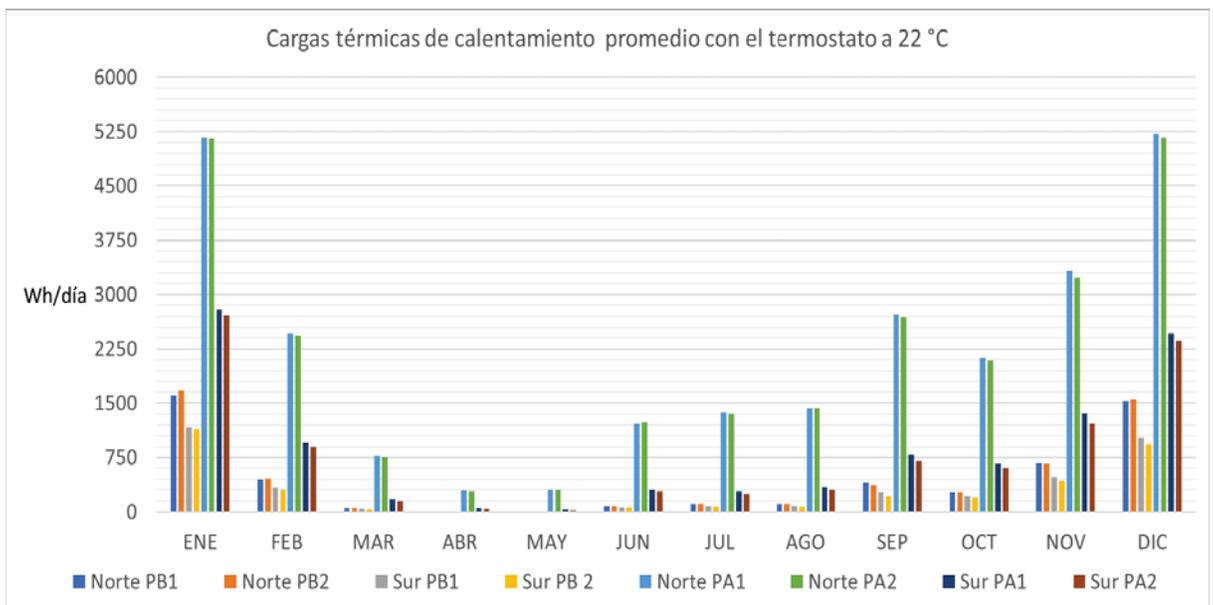


Figura 5-18: Cargas térmicas de calentamiento promedio con termostato el termostato en 22 °C, en Wh/día.

Se muestran los resultados con el uso de aire acondicionado con el termostato en la temperatura de confort mensual. En la figura 5-19 se muestran los resultados de las cargas térmicas de enfriamiento promedio en las ocho habitaciones. La mayor carga de enfriamiento se presenta en el mes de mayo en la habitación Sur PA2 con un valor de 2,600 Wh/día.

En la figura 5-20 se muestran las cargas térmicas de calentamiento promedio en las ocho habitaciones con el termostato en la temperatura de confort mensual. Se observa que las cargas de enfriamiento son mayores en las habitaciones en planta alta que en planta baja en cada mes. Las habitaciones ubicadas al norte en planta alta presentan los valores más altos, siendo el valor más alto 11,600 Wh/día en en mes de enero.

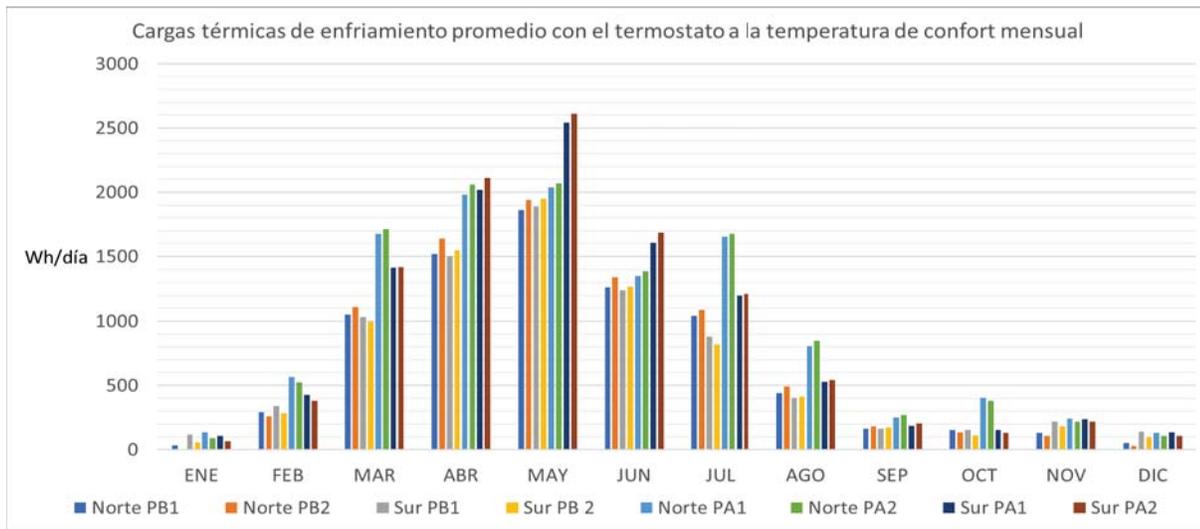


Figura 5-19: Cargas térmicas de enfriamiento promedio con el termostato en la temperatura de confort mensual, en Wh/día.

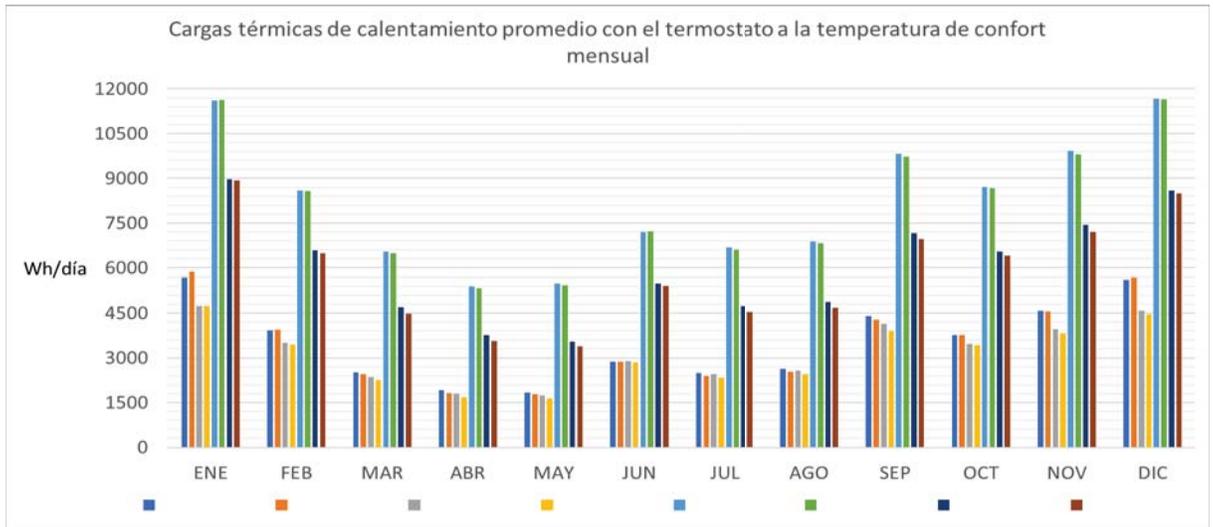


Figura 5-20: Cargas térmicas de calentamiento promedio con el termostato en la temperatura de confort mensual, en Wh/día.

5.2.3. Resultados térmicos con cargas térmicas internas.

Se muestran los resultados al agregar cargas térmicas internas. En la figura 5-21 se muestra la temperatura máxima promedio mensual en la condición sin uso de aire acondicionado y cargas térmicas internas. Se observa que la temperatura máxima promedio al interior de las habitaciones rebasa el límite superior de la temperatura máxima de confort por menos de 1 °C en los meses de abril y julio. El resto de los meses la temperatura máxima promedio mensual se encuentra dentro del rango de confort. Las habitaciones al sur en planta baja se encuentran 0.2 °C por debajo del límite mínimo de confort.

En la figura 5-22 se muestra la temperatura mínima promedio mensual en la condición sin uso de aire y con cargas térmicas internas, se observa que la temperatura mínima promedio se encuentra dentro del rango de confort en los meses de marzo hasta agosto en todas las habitaciones con excepción de las que se encuentran ubicadas al norte en planta alta.

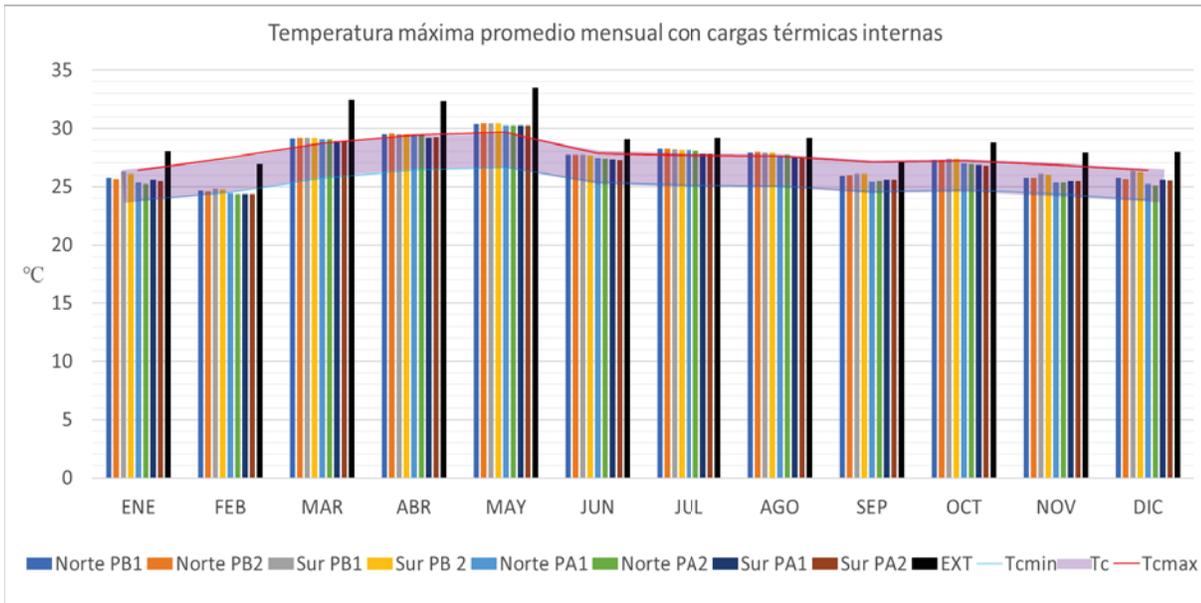


Figura 5-21: Temperatura máxima promedio mensual, simulación con cargas térmicas internas.

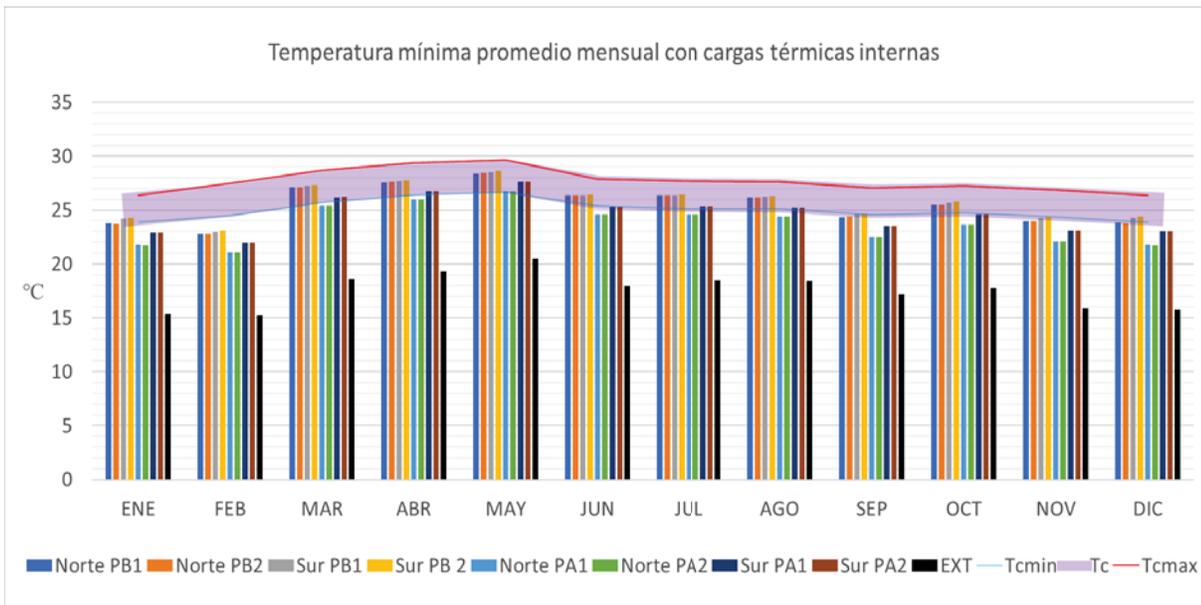


Figura 5-22: Temperatura mínima promedio mensual, simulación con cargas térmicas internas.

Se muestran los resultados de la simulación bajo la condición de uso de aire acondicionado con el termostato fijo en la temperatura de confort mensual y cargas térmicas internas. En la figura 5-23 se muestran las cargas térmicas de enfriamiento, se observa que las cargas de enfriamiento se aumentan significativamente al incorporar ganancias internas, presentando el valor mas alto en la habitación Sur PA2, con un valor de 28,000 Wh/día. En la figura 5-24 se muestran las cargas térmicas de calentamiento promedio, se observa que las cargas no son necesarias en los meses de marzo hasta agosto en ninguna habitación con excepción de las habitaciones ubicadas al norte en planta alta las cuales presentan los mayores valores en todos los meses, presentando el valor máximo de 1,800 Wh/día en el mes de enero.

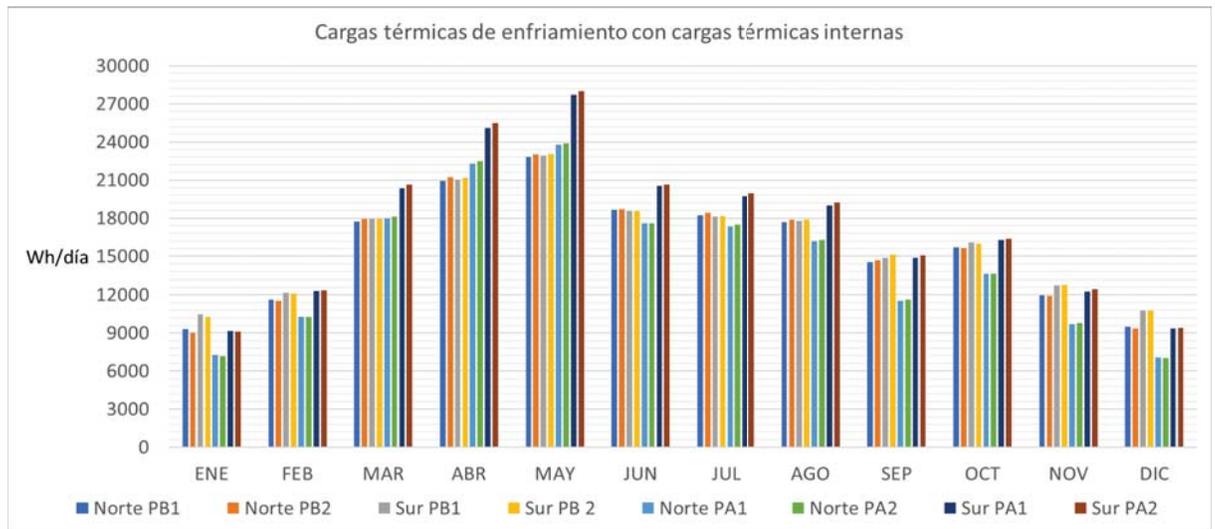


Figura 5-23: Cargas térmicas de enfriamiento, simulación con cargas térmicas.

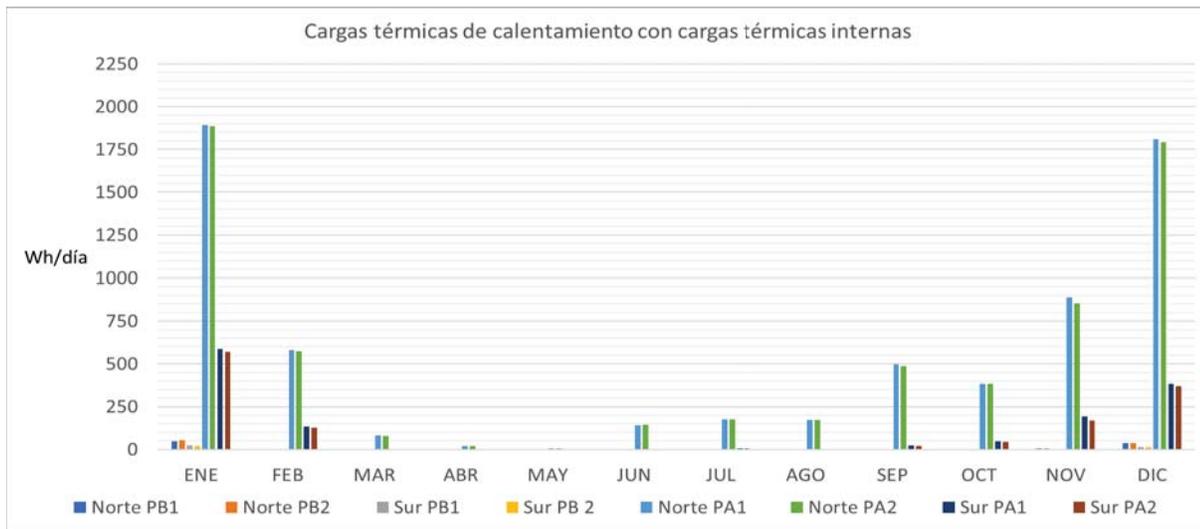


Figura 5-24: Cargas térmicas de calentamiento, simulación con cargas térmicas.

5.2.4. Resultados térmicos al agregar el módulo 2 de habitaciones.

Se realiza el análisis térmico para el módulo 1 de habitaciones al agregar el módulo 2 de habitaciones. Los resultados térmicos sin uso de aire acondicionado, sin cargas térmicas internas al agregar el módulo 2, no varían en más de 0.5 °C, resultando un comportamiento térmico como el mostrado sin el módulo 2.

Se realiza el análisis bajo la condición con uso aire acondicionado, sin cargas internas al agregar el módulo 2. En la figura 5-25, se muestran las cargas térmicas de enfriamiento promedio en la habitación Sur PA2 en el mes de mayo, al ser la habitación y el mes en que se presentan la mayor carga de enfriamiento. Se muestra la comparación entre 4 casos. El caso 1 sin cargas térmicas internas y sin el módulo 2 con el termostato en a 22 °C, caso 2 sin cargas térmicas internas y sin el módulo 2 con el termostato en la temperatura de confort mensual, el caso 3 con cargas térmicas internas sin el módulo 2 con el termostato en la temperatura de confort mensual y el caso 4 sin cargas internas con el módulo 2 con el termostato en la temperatura de confort mensual. Se observa que las cargas térmicas de enfriamiento aumentan

significativamente al agregar las cargas térmicas internas, mientras que al agregar el módulo 2 de habitaciones las cargas disminuye relativamente poco, de 2,600 a 2,300 Wh/día.

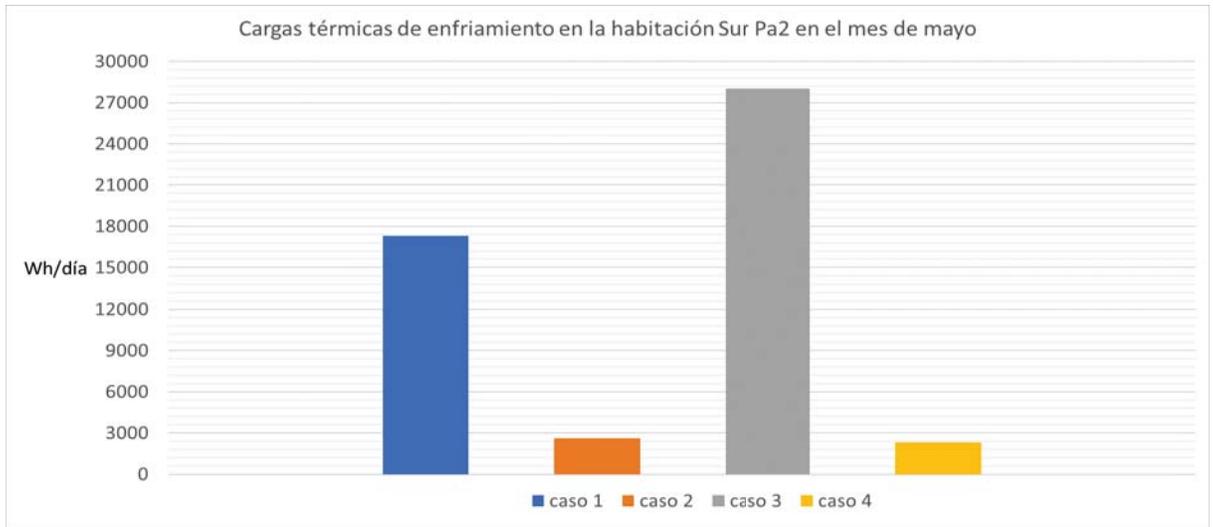


Figura 5-25: Cargas térmicas de enfriamiento en la habitación Norte PA1 en el mes de enero.

En la figura 5-26, se muestran las cargas térmicas de calentamiento promedio en la habitación Norte PA1 en el mes de enero, al ser la habitación y el mes en que se presentan la mayor carga de calentamiento. Se muestra la comparación entre los 4 casos mencionados. Se observa que las cargas térmicas de calentamiento disminuyen al agregar cargas térmicas internas, a un valor de 1900 Wh/día. Se observa que las cargas se reducen al agregar el módulo 2 de habitaciones, de 11,600 a 10,600 Wh/día.

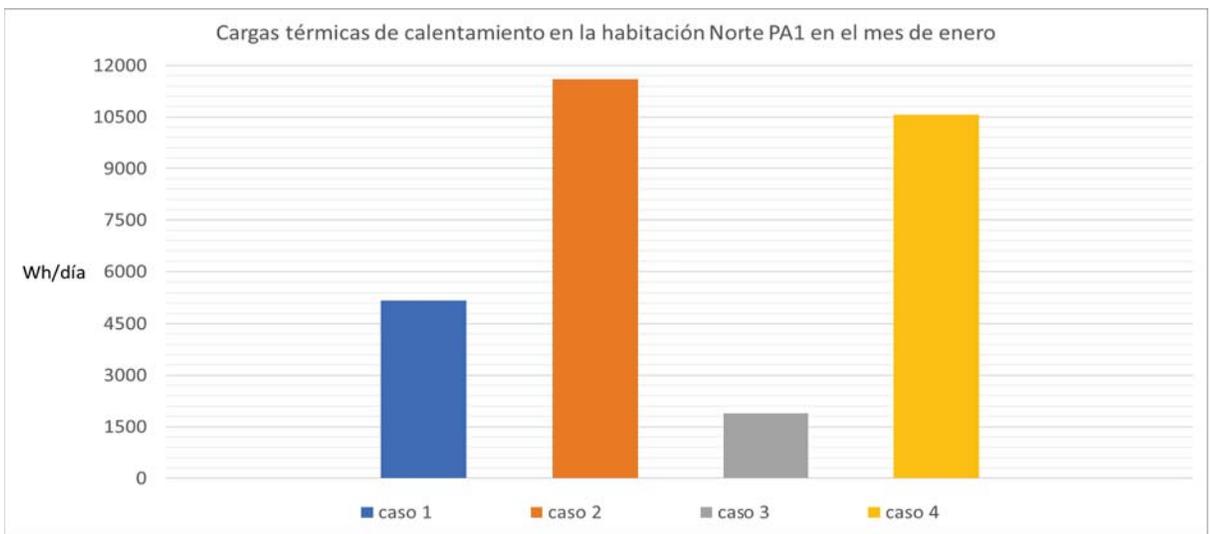


Figura 5-26: Cargas térmicas de calentamiento en la habitación Sur PA2 en el mes de mayo.

Capítulo 6

Conclusiones

En este trabajo se plantea mejorar el desempeño térmico y lumínico de las edificaciones mediante la implementación adecuada del diseño bioclimático, el cual toma en cuenta las condiciones climáticas y usa estrategias pasivas.

El diseño arquitectónico del hotel propuesto en este proyecto ubicado en Xochitepec, Morelos, México, es el resultado del análisis del clima realizado mediante el programa Climate Consultant [18] y las estrategias pasivas sugeridas por este mismo y por el Código de edificación de vivienda de la CONAVI [17], que se consideraron adecuadas para el proyecto. Siendo la orientación de las edificaciones, la protección solar en ventanas, el uso de masa térmica en los muros de la envolvente y la ventilación natural las principales estrategias sugeridas.

La envolvente arquitectónica está compuesta por los sistemas constructivos adecuados para el clima, considerando el uso de aire acondicionado y sin aire acondicionado, ya que ambos casos serán utilizados en el hotel. El análisis del sistema constructivo realizado mediante la herramienta en línea Ener-Habitat [28] permite elegir entre los sistemas constructivos propuestos para muros exteriores, bajo un criterio que toma en cuenta las condiciones climáticas, se elige el sistema constructivo de una capa de 0.015m de mortero cemento-arena al exterior

pintado de color blanco (absortancia solar 0.2), una capa de ladrillo de 0.12m de espesor y una capa de 0.015m de yeso. El sistema elegido presenta el segundo mejor comportamiento térmico sin el uso de aire acondicionado, con valores de entre 4 y 6 Wh/m^2 día de energía transmitida, valores de factor de decremento de 0.3, y entre 8 y 12 h de tiempo de retraso, siendo el mejor sistema constructivo con uso de aire acondicionado, presentando los menores valores cargas térmicas, con valores entre 100 y 180 Wh/m^2 día de cargas térmicas totales, para las paredes en las orientaciones norte, sur, este y oeste en los meses de enero y mayo.

La integración de módulos fotovoltaicos y calentadores solares al diseño arquitectónico con el espacio, orientación e inclinación necesarios para su mejor funcionamiento se hizo tomando en cuenta un análisis de estimación de consumo de energía eléctrica y de agua caliente, teniendo como resultado 25 módulos fotovoltaicos y dos calentadores solares de 240 litros por cada módulo de ocho habitaciones, 9 módulos fotovoltaicos y un calentador solar para el área de administración y servicios y 20 colectores solares para la alberca.

Estos análisis tienen como resultado la propuesta arquitectónica del anteproyecto. La cual cumple con el programa de necesidades y con los requerimientos del análisis bioclimático. Compuesta por tres módulos cada uno de ocho habitaciones, cuatro en planta baja y cuatro en planta alta. Cuenta con ventanas únicamente en las fachadas norte y sur. Se propone un ducto que separa el módulo en dos partes, el cual permite el paso de instalaciones y la ventilación. Los módulos de habitaciones se encuentran separados entre sí para permitir el paso del aire. Se ubican los módulos en forma escalonada para aprovechar la forma del terreno. Los techos tienen la inclinación y orientación necesaria para el mejor funcionamiento de los módulos fotovoltaicos y calentadores solares. A pesar de que los módulos de manera individual no cumplen con la condición de tener las fachadas largas hacia el norte y sur, se realizan distintos acomodos, siendo el acomodo propuesto el que puede construirse en el terreno plantado y que cumple lo mejor posible las recomendaciones bioclimáticas. Aunque el

anteproyecto se diseña para propiciar la ventilación natural, las simulaciones térmicas no la consideran, suponiendo que las ventanas se encuentran cerradas en todo momento.

La protección solar que producen los aleros sobre las ventanas, una de las principales estrategias pasivas para este proyecto, indica que las ventanas ubicadas en la fachada norte cuentan con una protección solar adecuada, cubriendo la ventana desde las 7:00 h hasta las 17:00 h en todos los meses, siendo también adecuada para las ventanas ubicadas en la fachada sur en planta alta, protegiendo la ventana desde que amanece hasta que atardece en todos los meses con excepción de la mañana hasta las 9:00 h y en la tarde desde las 15:00 h en los meses fríos, noviembre, diciembre y enero. Las protecciones solares en planta baja para las ventanas ubicadas en la fachada sur no reducen adecuadamente la radiación solar, ya que a diferencia de las ventanas en planta alta el alero que las protege no tiene ninguna inclinación. El alero no protege en ninguna hora estas ventanas en los meses de octubre a febrero, el resto del año las ventanas se encuentran protegidas durante todas las horas del día. Los resultados para estas ventanas indican la necesidad de colocar árboles a una distancia de 1.20m de las ventanas los cuales proveen la protección necesaria. A pesar de que el análisis realizado supone protecciones solares infinitas, se considera que la suposición es válida al tener aleros que sobrepasan las ventanas 5.35m de un lado y 2.10 del otro.

Los resultados térmicos y lumínicos, son evaluados para el módulo 1 de habitaciones, mediante una simulación en el programa EnergyPlus [14] y Radiance [?]. Evaluados tanto con aire acondicionado como sin este.

Los resultados lumínicos indican sobre iluminación en las habitaciones, presentado cerca de la ventana en todas las habitaciones niveles superiores a 1,000 lux, nivel máximo establecido, con valores hasta de 4,000 lux en las ventanas ubicadas al sur. Por lo que se agregan protecciones solares que reducen la sobre iluminación y se aumenta la dimensión del largo de la ventana para evitar sub iluminación en la parte de las habitaciones más alejada de la ven-

tana. Las modificaciones para las ventanas presentan valores entre 79 y 86 % de frecuencia de confort visual en las habitaciones, una mejoría entre el 1 y 3 %, reduciendo la sobre iluminación cerca de la ventana en aproximadamente 600 lux menos al norte y 2,500 lux menos al sur que con la ventana y protecciones originalmente propuestas. En los mapas UDI se observa que en las ventanas al sur se presenta sub iluminación en la mitad de la habitación más alejada de la ventana debido a las protecciones solares y los árboles, sin embargo, la necesidad de estos para reducir la sobre iluminación es de mayor importancia. El método de análisis considera días elegidos para representar el mes, lo cual puede presentar errores.

Los resultados térmicos para las habitaciones con las modificaciones en las ventanas sugeridos en el análisis lumínico presentan un buen comportamiento para el tipo de clima. Para el caso sin uso de aire acondicionado, la temperatura máxima promedio mensual del aire al interior en todas las habitaciones es menor que la del aire exterior, en todos los meses y no supera la temperatura máxima de confort a pesar de que la temperatura al exterior si la sobrepasa en la mayoría de los meses. Esto tiene mayor importancia en los meses de marzo, abril y mayo que es donde se presentan las temperaturas máximas del aire al exterior, encontrándose dentro de la temperatura de confort al interior de las habitaciones. La temperatura mínima promedio mensual a pesar de encontrarse por debajo del nivel mínimo de temperatura de confort, es mayor que exterior en todos los meses. Otro resultado importante es que la temperatura media promedio mensual del aire al interior, en todos los meses, no rebasa la temperatura máxima de confort, lo que indica un buen comportamiento térmico para este tipo de clima. El factor de decremento, que es uno de los principales indicadores del comportamiento térmico, presenta valores en todas las habitaciones de planta baja menores de 0.22. En planta alta en las habitaciones sobre las que se encuentran los módulos fotovoltaicos se presentan valores máximos de 0.26 y las habitaciones sobre las que no se colocan módulos fotovoltaicos se presentan valores máximos de 0.44. Esto indica que la amplitud de la oscila-

ción de la temperatura al interior es mucho menor que la correspondiente del aire exterior. El análisis térmico al agregar el módulo 2 de habitaciones presenta variaciones de menos de un grado en todos los parámetros evaluados, mostrando resultados muy similares al análisis sin agregar el módulo 2. Esto es de gran importancia, ya que se construirá por etapas, teniendo un buen comportamiento térmico en la primera etapa de construcción con solo el módulo 1 y un buen comportamiento al agregar el módulo 2 y en las siguientes etapas de construcción. Estas simulaciones térmicas no consideran cargas térmicas internas con la intención de analizar el desempeño térmico de la edificación a causa únicamente de las condiciones climáticas.

El análisis con uso de aire acondicionado con el termostato fijo en 22°C, muestra cargas térmicas de enfriamiento con valores máximos de 17,300 Wh/día en el mes de mayo, se observa un comportamiento similar para las habitaciones en todos los meses, con los valores más altos en las habitaciones al sur en planta alta. Con el uso del termostato en la temperatura de confort mensual, se muestra que en las habitaciones casi no es necesario el uso de aire acondicionado de enfriamiento en relación con el termostato fijo en 22 °C. El valor máximo de cargas de enfriamiento para este caso es de 2,600 Wh/día en el mes de mayo. Esto demuestra la posibilidad de reducir el consumo de energía por aire acondicionado de enfriamiento considerando que las condiciones al interior de la edificación se acercan a la temperatura de confort mensual con una menor necesidad de cargas térmicas de enfriamiento. Las cargas térmicas de calentamiento promedio con el termostato fijo en la temperatura de confort aumentan considerablemente con relación a la condición con termostato fijo a 22 °C. Presentando un valor máximo con termostato a 22 °C de 5,220 Wh/día en el mes de enero y de 11,600 Wh/día con el termostato en la temperatura de confort. En el análisis con cargas térmicas de enfriamiento y el termostato en la temperatura de confort mensual se muestra que las cargas térmicas de enfriamiento se reducen en comparación al caso sin cargas térmicas de enfriamiento, sin embargo las cargas térmicas de calentamiento presentan los valores más

altos. El número de personas en las habitaciones y las actividades que realizan al interior afectan de manera importante el desempeño térmico de las habitaciones.

Los resultados muestran que, con el diseño propuesto, se puede tener un hotel en condiciones de confort al interior con un bajo consumo de aire acondicionado y tener una correcta iluminación natural durante el día. Siendo uno de los principales objetivos del diseño bioclimático en hoteles alrededor del mundo como se vio en la revisión bibliográfica. Como se muestra en este trabajo y en los encontrados en la literatura, la envolvente arquitectónica adecuada reduce el consumo de energía. Sin embargo, la mayoría de los estudios encontrados en la literatura la importancia del aislamiento térmico en la envolvente se reporta como el resultado principal de las investigaciones, debido al análisis independiente del tiempo. En este trabajo se utiliza un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo y se muestra que, con los materiales adecuados, sin el uso de aislantes, se puede lograr condiciones de confort casi todo el año y el uso de aire acondicionado para refrigeración solo para algunas fechas.

Otros trabajos encontrados en la literatura presentan recomendaciones bioclimáticas para su país de origen, es de gran importancia tomar en cuenta que esos resultados no pueden ser aplicado a otros lugares al presentar distintos tipos de clima, aspectos sociales y económicos. Esto destaca la importancia de generar investigaciones para los climas de México. Es de gran importancia mencionar que los resultados de las simulaciones lumínicas y térmicas en este trabajo, a pesar de presentar suposiciones, son de gran relevancia para el buen desarrollo del proyecto propuesto. Existen algunas limitaciones como las velocidades del viento, las cuales se ha detectado pueden no representar correctamente las del sitio, la ocupación y actividades realizadas al interior no se pueden definir de antemano, lo cual afecta el desempeño térmico presentándose algunas diferencias en el edificio construido. Sin embargo, ya que existe un acuerdo con el propietario de seguir las especificaciones del proyecto, se espera que las diferencias sean pequeñas. El análisis presentado en este trabajo es específico para este proyecto

por lo que no es posible su aplicación en otros climas. Sin embargo, la metodología presentada puede servir de guía para otros proyectos de arquitectura bioclimática. Las normas mexicanas para la eficiencia energética, NOM-008-ENER y NOM-020-ENER, para uso comercial y habitacional respectivamente, tienen como objetivo limitar la ganancia de calor de los edificios a través de la envolvente arquitectónica para reducir el uso de la energía por los sistemas de aire acondicionado de enfriamiento. Sin embargo, están basadas en un análisis independiente del tiempo. Por lo que la aplicación de estas normas a un proyecto como el propuesto en este trabajo en un clima con fuertes variaciones de temperatura a lo largo del día y donde se busca lograr condiciones de confort al interior sin uso de aire acondicionado no son adecuadas.

Futuras investigaciones para reducir el consumo de energía en hoteles en distintos climas permitirán dar a conocer el beneficio del diseño bioclimático, teniendo como objetivo final la divulgación del uso correcto de la envolvente arquitectónica en edificios de alto consumo energético y con ello reducir su impacto ambiental.

Bibliografía

- [1] F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya, A. Sabio-Ortega, and A. García-Cruz. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49:736–755, 2015.
- [2] International Energy Agency. *Transition to sustainable buildings: Strategies and opportunities to 2050*. obtenido de <https://www.iea.org/buildings/> consultado en noviembre del 2018).
- [3] P. Bohdanowicz, A. Churie-Kallhauge, I. Martinac, and D. Rezachek. Energy-Efficiency and Conservation in Hotels—Towards Sustainable Tourism. *4th International Symposium on Asia Pacific Architecture*. Hawaii, April 2001, 1–12, 2001.
- [4] M.Ampatzi. Bioclimatic Strategies for Seaside Resorts on Greek Islands. *PLEA2009-26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22–24, 2009*.
- [5] J. Xing, P. Ren, and J. Ling. Analysis of energy efficiency retrofit scheme for hotel buildings using eQuest software: A case study from Tianjin, China. *Energy and Buildings*, 87:14–24, 2015.
- [6] H. Sozer. Improving energy efficiency through the design of the building envelope. *Building and Environment*, 45:2581–2593, 2010.

- [7] G. Xydis, C. Koroneos, and A. Polyzakis. Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: An application. *Energy and Buildings*, 41:402–406, 2009.
- [8] S. Bodach, W. Lang, and T. Auer. Design guidelines for energy-efficient hotels in Nepal. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5:411–434, 2016.
- [9] S. Lu, S. Wei, X. Kong, and W. Wu. Investigation and analysis on the energy consumption of starred hotel buildings in Hainan Province, the tropical region of China. *Energy Conversion and Management*, 75:570–580, 2013.
- [10] K. T. Tsai, T. P. Lin, R. L. Hwang, and Y. J. Huang. Carbon dioxide emissions generated by energy consumption of hotels and homestay facilities in Taiwan. *Tourism Management*, 42:13–21, 2014.
- [11] P. Oluseyi, O. M. Babatunde, and O. A. Babatunde. Assessment of energy consumption and carbon footprint from the hotel sector within Lagos, Nigeria. *Energy and Buildings*, 118:106–113, 2016.
- [12] W. Xuchao, R. Priyadarsini, and L. Siew Eang. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore’s hotel industry. *Energy Policy*, 38:4520–4527, 2010.
- [13] J. J. Hirsch. eQUEST. [software]. obtenido de <http://www.doe2.com/equest/>, consultado en noviembre 2018.
- [14] U.S. Department of Energy’s (DOE) Building Technologies Office (BTO). EnergyPlus. [software]. obtenido de <https://energyplus.net/> consultado en noviembre 2018.
- [15] Environmental Design Solutions Ltd, M. Keynes. EDSL Tas. [software]. obtenido de <https://www.edsl.net/tas-engineering> consultado en noviembre 2018.

- [16] G. Huelsz, G. Barrios, R. Rechtman and J. Rojas. Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación. *Anuario de Arquitectura*, 7–18, 2010.
- [17] Comisión Nacional de Vivienda. Código de Edificación de Vivienda. obtenido de <https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda> consultado en noviembre 2018.
- [18] M. Murray. Department of Architecture and Urban Design University of California, Los Angeles. ClimateConsultant. [software]. obtenido de <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/> consultado en noviembre 2018.
- [19] Meteotest. Meteonorm. [software]. obtenido de <https://www.meteonorm.com/> consultado en noviembre 2018.
- [20] Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. ASRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy. obtenido de <http://archohvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ashrae-55-2010.pdf> consultado en noviembre 2018.
- [21] B. Beckers, UTC, Compiègne, France. HELIODON2. [software]. obtenido de <http://heliodon.net> consultado en noviembre 2018.
- [22] Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. ASRAE. Handbook of fundamentals 2005. obtenido de <https://shop.iccsafe.org/media/wysiwyg/material/8950p203-toc.pdf> consultado en noviembre 2018.
- [23] Concejería Jurídica Gobierno del Estado de Morelos. Reglamento de Construcción del Municipio de Temixco, Morelos 2009.
- [24] Ernst Neufert. Arte de Proyectar en Arquitectura. Ciudad de México: Gustavo Gili. 2010.

- [25] EXELSOLAR. TSM-270PT FichaTecnica. obtenido de <http://www.exelsolar.com/Productos/Detalle/TRSPSOAB002> consultado en noviembre 2018.
- [26] Sistemas y Equipos Solares para Calentamiento de Agua Módulo Solar. Axol 240 litros ms2.5. obtenido en <https://modulosolar.com/mx/productos-usodomestico/> consultado en noviembre 2018.
- [27] Sistemas y Equipos Solares para Calentamiento de Agua Módulo Solar. Ecosun colectores de plástico. obtenido en <https://modulosolar.com/mx/calentadores-para-albercas/> consultado en noviembre 2018.
- [28] Ener-Habitat [software]. obtenido de <http://www.enerhabitat.unam.mx/cie2/> consultado en noviembre 2018.
- [29] National Laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. OpenStudio. [software]. obtenido de <https://www.openstudio.net/> consultado en noviembre 2018.
- [30] G. Barrios, M. Valdez. Daylight. [software]. obtenido de <https://github.com/AltamarMx/Daylight> consultado en noviembre 2018.
- [31] J. F. Nicol and M. A. Humphreys. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34:563–572, 2002.
- [32] D. Morillón, R. Saldaña, I. Castañeda, and U. Miranda. Atas Bioclimático de la República Mexicana. 10:57–62, 2002.
- [33] U.S. Department of Energy. Input Output Reference. *EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation*, 463–464, 2018.

- [34] G. Hernández and M. Celeste. Iluminación LED. Ahorro, Eficiencia e Innovación. *Escuela Universitaria de Ciencias Empresariales San Cristóbal de La Laguna*, 8–12, 2014.

Apéndice A

Planos arquitectónicos

Plano A-01: Planta baja, planta alta, planta de azotea, corte A y corte B.

Plano A-02: Fachadas norte sur este y oeste primera etapa de construcción , fachadas este y oeste etapa final de construcción.

Plano A-03: Planta de conjunto, plantas de acabados de la envolvente.

Plano A-04: Planta de conjunto exteriores y perspectiva.

