



Diseño y Evaluación del Control Solar en la Arquitectura: Caso de Estudio La Paz, B.C.S.



TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Arquitectura

Campo de conocimiento Tecnología

Presenta:

David Mejía Domínguez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MMII

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

Director de tesis

Dr. David Morillón Gálvez

Sinodales

Dr. Jesús Aguirre Cárdenas

Dr. José Diego Morales Ramírez

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

i

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

*A todos mis familiares, en especial
a mis padres Eloísa y Juan Manuel, así como a
Edith, Vero, Juan Carlos, Víctor, Toño, Elías y Moni
con respeto, cariño y admiración*



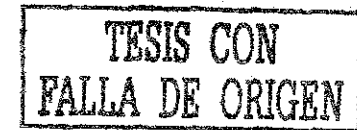
Agradecimientos

Agradezco especialmente al Dr. David Morillón por todo su apoyo y consejos tanto en el aspecto profesional como humano, por ser un buen ejemplo a seguir pero, sobre todo, por su amistad a lo largo de estos años de conocerlo, así como a mis demás sinodales, los doctores Jesús Aguirre y Diego Morales, y a los maestros Francisco Reyna y Jorge Rangel, por su accesibilidad y apoyo en la elaboración de la tesis. A la UNAM, en especial al Posgrado de Arquitectura, así como al Instituto de Ingeniería y a la coordinación de Ingeniería de Sistemas, en donde este trabajo se gestó y desarrolló, al Ing. Ignacio F. Espinosa V. por su apoyo en la edición del texto, logrando que fuera un documento claro. Finalmente, a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

Con aprecio para todos ustedes

David

iii



Indice

	Página
Jurado	<i>i</i>
Dedicatoria	<i>ii</i>
Agradecimientos	<i>iii</i>
Resumen	1
Introducción	4
El aspecto energético	6
Objetivo	9
Objetivos particulares	9
Estructura	9
Capítulo 1 Antecedentes	11
1.1 Revisión Bibliográfica	12
1.2 Conclusiones de la revisión bibliográfica	16
Capítulo 2 Control solar en la arquitectura	18
2.1 Principios básicos del control solar	19
2.2 Elementos del control solar	21
2.3 Alero	21
2.4 Partesol	23
2.5 Soluciones arquitectónicas de los elementos del control solar	27
2.6 Elementos horizontales	28
2.7 Elementos verticales	30
2.8 Elementos combinados	31

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3	Requerimientos del control solar: Clima cálido seco, caso La Paz, B.C.S.	34
3.1	Análisis del clima	35
3.2	Temperatura	38
3.3	Isotermas	39
3.4	Humedad relativa media	40
3.5	Isohigras	41
3.6	Viento	42
3.7	Radiación solar	43
3.8	Estudio del bioclima	44
3.9	Estrategias de climatización	52
Capítulo 4	Diseño del control solar	54
4.1	Metodología	55
4.2	Diseño de aleros	56
4.3	Diseño de partesoles	63
Capítulo 5	Evaluación e impacto del control solar en la ganancia de calor	69
5.1	Validación del método gráfico de cálculo de la radiación solar	70
5.2	Radiación incidente en superficies	76
5.3	Cálculo de la radiación incidente con la protección del alero	77
5.4	Cálculo de la radiación incidente con la protección del partesol	78
5.5	Cálculo de la radiación incidente con la protección de aleros y partesoles	79
5.6	Ganancia de calor en una vivienda de interés social	81
5.7	Ahorro de energía y disminución de emisiones de CO ₂ a la atmósfera	83
5.8	Resultados	88

Conclusiones	94
Referencias Bibliográficas	98
Índice de ilustraciones	104
Índice de Gráficas	105
Índice de Figuras	106
Índice de Tablas	108
Índice de Fotografías	109

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Resumen

Resumen

Es notorio que en la actualidad las construcciones no están diseñadas de acuerdo a las características del entorno climático del lugar en donde se construyen, dando esto como resultado que las condiciones térmicas internas de dichas construcciones resulten inconfortables, en diversos grados y modalidades, para sus habitantes.

Hasta ahora, la solución común a este problema ha consistido en recurrir al uso de equipo eléctrico de climatización, desde el simple ventilador hasta el costoso equipo de aire acondicionado, para lograr condiciones internas térmicamente confortables para el ser humano. Sin embargo, no se ha puesto suficientemente de manifiesto el impacto económico y ecológico que conlleva el uso de tales equipos como solución primaria tradicional. Hemos de considerar el gran consumo de energía eléctrica que se requiere y que dicha energía proviene mayormente de la quema de combustibles fósiles no renovables, con la consecuente emisión de CO₂ a la atmósfera y el incremento del nocivo efecto invernadero sobre el planeta.

Cuando este problema se analiza más de cerca, se aprecia claramente la gran importancia que representaría para el país el disponer de métodos y herramientas que permitan diseñar y construir edificaciones térmicamente adecuadas y energéticamente eficientes

Una línea de investigación en ese sentido, es el estudio de los sistemas pasivos de climatización, los cuales forman parte de la misma estructura del edificio y no requieren de energía eléctrica para funcionar, puesto que el fenómeno de transferencia de calor hacia el interior se regula de manera natural, tanto a través de las partes opacas como transparentes (ventanas) expuestas a la radiación. En este trabajo nos concentraremos en el estudio de dos de los elementos pasivos de control solar: el alero y el partesol. Con el empleo de estos elementos se puede disminuir la ganancia de calor al interior en el verano y permitir el paso de la radiación solar en el invierno.

Diferentes autores han realizado estudios sobre los elementos de control solar, los cuales se reseñan brevemente en el primer capítulo. El presente trabajo obtiene soluciones y ventajas a partir de estos estudios. Por ejemplo, se complementó el método de diseño de elementos de control solar, propuesto por Gómez Azpeitia, con la parte del cálculo del ángulo óptimo de partesoles, y se hizo la recopilación de las distintas formas que adoptan los elementos de control solar.

El punto de partida es un análisis del clima, que nos permite determinar las características del bioclima y los requerimientos de climatización para poder delimitar las zonas de confort del ser humano a lo largo del año. Con estos datos se obtiene el



diagrama de isorequerimientos, en el que se muestran los requerimientos de climatización a cada hora a lo largo del año, es decir, nos permite conocer las horas en las que se requiere radiación solar y en las que se requiere protección solar (sombra). Este diagrama es, por consiguiente, una herramienta indispensable para el cálculo del ángulo óptimo de aleros y partesoles para cada orientación. Una vez obtenidos dichos ángulos, se realizó el cálculo del efecto de los elementos de control solar respecto a la radiación, aplicándolo a una vivienda de tipo interés social, de aproximadamente 50 m² de superficie, con orientación norte-sur y 4 48 m² de área transparente. Se calculó la ganancia de calor sin control solar y con éste, obteniendo como resultado la reducción del 65% en la ganancia de calor.

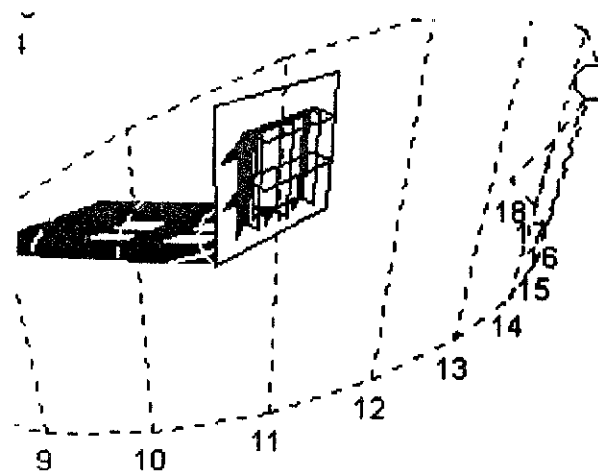
Posteriormente se hizo la extrapolación a escala nacional, es decir, se determinó la radiación solar incidente en diferentes latitudes sobre las fachadas norte y sur, siendo estas latitudes 14°, 20°, 24°, 28° y 32°. En las latitudes mencionadas y en ese mismo orden, se obtuvieron disminuciones del 59%, 46%, 55%, 62% y 70% respectivamente.

Además, se agruparon los estados de la República en cuatro grupos, el primero de ellos, denominado con la letra "A", está conformado por los estados que se localizan entre los 28° y 32° de latitud norte, es decir, Baja California, Sonora y Chihuahua. Los tres grupos restantes, B, C y D, agruparon los estados

localizados geográficamente entre los rangos de latitud 24° a 28°, 20° a 24° y 14° a 20°, respectivamente.

Esto se hizo con la finalidad de determinar la disminución de la ganancia de calor en cada rango, debido a que la trayectoria solar como la incidencia de los rayos solares varía en cada latitud. De acuerdo al número de viviendas que se construyen en cada uno de los estados, se calculó el efecto del control solar en las viviendas ubicadas en cada rango y en donde se obtuvieron diferentes porcentajes de disminución de ganancia de calor, llegando en algunos casos hasta 70%. De acuerdo al número de viviendas por construir, a escala nacional se logra un ahorro eléctrico de 351,278 kW consumidos por el equipo de climatización, dando como resultado evitar la emisión de 239 Ton de CO₂ a la atmósfera, y para el año 2010, una disminución de 3,316 Ton de CO₂.

Los resultados obtenidos a lo largo del trabajo muestran la necesidad de reconsiderar el control solar en la arquitectura, como una vía, no de manera aislada sino en conjunción con otros sistemas pasivos, para la consecución de una arquitectura más consciente y adecuada tanto para el ser humano como para el medio ambiente en el que vivimos.



Introducción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

La arquitectura desde sus orígenes, ha tenido como función dar abrigo y protección a sus moradores. El hombre primitivo utilizó los elementos naturales a su alcance para protegerse de los agentes climáticos adversos. Empezó habitando en cuevas y poco a poco desarrolló la capacidad de modificar su entorno y aprendió técnicas constructivas que le permitieron establecerse en sitios con condiciones climáticas desfavorables. Las cuevas en algunos lugares eran seleccionadas de tal manera que fueran frescas en verano y cálidas durante el invierno, orientadas de tal forma que permitieran el soleamiento invernal y la protección solar en verano. Este principio básico de la protección solar surgió por la observación de la posición cambiante del sol durante las diferentes estaciones del año (fig 1.1).

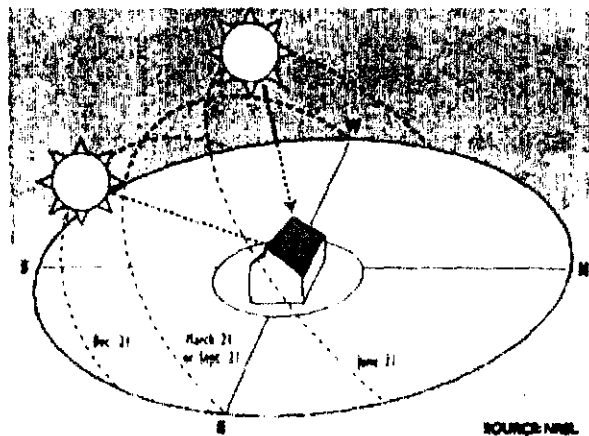


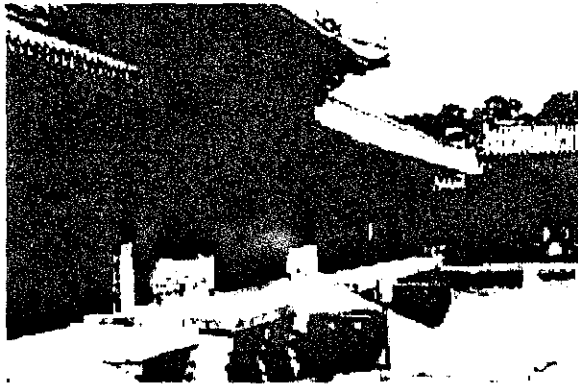
Fig. 1.1. El recorrido solar varía según la época del año

Desde la antigüedad, el hombre empezó a concientizarse de los efectos del clima y a buscar la manera de aprovecharlos. Existen evidencias de que los griegos y los romanos, entre otras culturas, aprendieron a construir sus casas para beneficiarse de la energía de los rayos solares en el invierno y evitar el calor del sol en el verano, construyéndolas de manera que la luz solar del invierno pudiera penetrar fácilmente a través de un pórtico de cara al sur, y en el verano los aleros o tejados sobresalientes protegían las habitaciones de la casa del intenso sol durante gran parte del día¹. También había ciudades que eran planificadas para favorecer el soleamiento de todas las construcciones; por ejemplo, la ciudad de Olinto, en donde la traza de las calles permitía dar orientación sur a todas las casas de una calle.

La arquitectura China emplea grandes aleros y circulaciones porticadas que permiten el control de la incidencia solar sobre las fachadas (fotografía 1.1).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹ Butti, Kenn y Perlin, John (1985) *Un hilo dorado 2500 años de arquitectura*, Editorial Hermann Blume, Madrid, España, p 5



Fotografía I.1 Edificación China con control solar exterior²



Fotografía I.2. Casa Tarahumara³

En la India y Medio Oriente se emplean las celosías, que sirven como control visual y solar.

En nuestro país, los Tarahumaras aprovechan el principio del movimiento solar en la elección de las cuevas que habitan (fotografía I.2).

Repasando brevemente estos ejemplos, nos damos cuenta que, desde la antigüedad hasta nuestros días, la noción del control solar ha sido un elemento importante de la vida urbana a través del mundo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El aspecto energético

De la luz solar que recibimos en la Tierra, cerca del 30% es reflejada al espacio, el resto es absorbida por la atmósfera, las nubes o la misma tierra; ésta a su vez, la emite en forma de calor, pero algunos componentes de la atmósfera no permiten que salga parte de ese calor y lo refleja hacia la Tierra, ocasionando así el "efecto invernadero", fenómeno que causa el incremento de la temperatura del planeta⁴. Aunado a esto se tiene la emisión de contaminantes por la quema de combustibles fósiles en procesos industriales y para la generación de energía eléctrica, que es cada vez más demandada por el ser humano para poder

²Fuente: Página de internet :

<http://www.sec.nl/persons/stals/nns97/grp03/htdocs/chinese/RPalace.html#gg>

³ Fuente: Página de Internet:

http://www.mexicodesconocido.com.mx/guias_md/cobre.htm

⁴ Las actividades antropogénicas que están incidiendo directamente en el cambio climático son principalmente los patrones de cambio de uso del suelo resultado de la deforestación, las actividades agropecuarias y la contaminación, entre otras. Instituto Nacional de Ecología. Página de Internet http://www.ine.gob.mx/dggia/indicadores/espanol/intro_cc.htm

desarrollar sus actividades. Evidentemente, el círculo vicioso. mayor crecimiento de población, mayor demanda de energía, mayor contaminación, mayor efecto invernadero, mayor deterioro ecológico, etc , no puede seguirse ignorando

Uno de los factores que contribuyen al mayor consumo de energía radica en la arquitectura actual, que ha padecido una falta de conciencia ecológica por parte de los diseñadores, en donde la tecnología avanzada desprecia o ignora los dones de la naturaleza: la luz del cielo, el calor del sol, la benéfica brisa, etc.⁵

Las edificaciones, al igual que todos los cuerpos, están sujetos a fenómenos térmicos naturales, puesto que ganan o pierden calor por convección, conducción y radiación, a través de muros, pisos, techos y partes transparentes (usualmente ventanas). Además, toda construcción se encontrará siempre enclavada en un cierto entorno climático, tendrá una orientación determinada y estará construida con diversos materiales que presentan características térmicas específicas.

Consecuentemente, cualquier vivienda o edificio, sea para uso habitacional o comercial, que se diseña y construye ignorando total o parcialmente los efectos arriba mencionados, resultará en esa medida inconfortable para sus moradores.

En particular, en los climas cálidos y cálidos extremos, sobre todo en el verano, las condiciones térmicas internas de la mayoría de las construcciones resultan sumamente incómodas para sus habitantes, quienes experimentan severas molestias, tales como hipersensibilidad, sudoración excesiva, irritación, bochorno, somnolencia, etc. Hasta ahora, estas condiciones se han solucionado recurriendo mayormente al uso de equipos eléctricos de climatización, tales como ventiladores, humidificadores, equipos de aire acondicionado, etc.

Evidentemente, la energía eléctrica que estos equipos requieren incrementa significativamente la demanda de energía eléctrica en esas regiones. Esta mayor demanda de energía implica un mayor consumo de combustibles fósiles para su generación, y la consecuente mayor emisión de CO₂ a la atmósfera.

México se localiza entre las latitudes 14° y 32° norte y longitudes 87° y 118°. Aproximadamente dos terceras partes del territorio presentan clima cálido (tanto seco como húmedo) y una parte importante de la energía eléctrica empleada en estas zonas se usa principalmente para la climatización de espacios, debido a que en la gran mayoría de las actuales edificaciones no se toman en cuenta las características del clima del lugar, la orientación, el control solar, ni las características de los materiales, como tampoco los sistemas constructivos de la envolvente, para poder determinar la ganancia de calor hacia el interior y buscar con ello la obtención del confort de manera

⁵ Rudofsky, Bernard (1999), *Constructores prodigiosos*, Editorial Árbol editorial, Colombia p 295

natural. Por el contrario, para climatizar se recurre al uso de equipos eléctricos de alto consumo de energía.

En algunas regiones cálidas, como Mexicali, se han llevado a cabo diferentes medidas tratando de disminuir el consumo de energía eléctrica para climatizar, tales como el aislamiento térmico de techos y muros; sin embargo, estas medidas no han sido suficientes.

En contraste con el escenario anterior, el diseño bioclimático es una opción adicional que repercutirá directamente en el confort y en la economía de los habitantes, debido a que permite reducir la ganancia de calor y el consumo innecesario de energía eléctrica destinada a la climatización. Los sistemas pasivos empleados para climas cálidos son aquellos que buscan regular el flujo de calor al interior de las edificaciones. Las partes transparentes de las edificaciones son las que permiten mayor flujo de calor y son, por tanto, las partes en donde han de aplicarse los *elementos de control solar*, es decir, *los aleros y los partesoles*. Estos sistemas pueden estar colocados de manera horizontal sobre las ventanas o de manera vertical junto a ellas, con ángulos óptimos para protegerlas del soleamiento en verano y permitirlo en el invierno.

Si se toma en cuenta que el país presenta clima cálido en dos terceras partes de su territorio, es obvio lo importante que ha de resultar el empleo de los elementos de control solar en las edificaciones.

Se considera indispensable promover el adecuado diseño bioclimático que busque en las edificaciones que la energía transferida hacia y desde ellas, ocurra por medio de procesos naturales, por conducción, convección y radiación⁶, es decir, usando sistemas pasivos que regulen, hacia el interior, el efecto de los factores del clima (temperatura, humedad, viento y radiación) y que ayuden a obtener el confort higrotérmico, con la mínima dependencia de equipos eléctricos.

A este respecto conviene aclarar que muchas localidades, expuestas a climas cálidos extremos, tendrán que recurrir necesariamente al uso de equipos eléctricos de climatización para poder satisfacer las condiciones de confort requeridas, pero que, si se emplean conjuntamente las técnicas pasivas o naturales de control solar, el uso del equipo eléctrico de climatización tanto en capacidad como en tiempo de uso, puede reducirse al mínimo indispensable, con el consecuente ahorro económico y energético.

⁶ Sámano, Morales, Morillón (1999) *Notas del curso de actualización en energía solar*, CIE UNAM, Temixco, Morelos p 228

Objetivo

- El objetivo de este trabajo consiste, por una parte, en presentar el desarrollo completo de la metodología para el diseño de los elementos de control solar, denominados aleros y partesoles y, por otra, mostrar las repercusiones benéficas que conlleva, tanto energéticas como ambientales.

Objetivos particulares

- Validar el método gráfico para calcular la radiación solar, propuesto por Victor Olgyay, contra los datos de la radiación medida en la estación meteorológica de La Paz, B.C.S.
- Calcular los ángulos óptimos de los elementos de control solar (aleros y partesoles) para una edificación en La Paz, B.C.S..
- Determinar la ganancia de calor al interior de una vivienda tipo Infonavit a través de las partes transparentes de la misma.
- Evaluar el efecto de los elementos de control solar respecto a los requerimientos de ganancia o de protección solar al interior de dicha vivienda.
- Evaluar el beneficio que representa la aplicación de la tecnología del control solar en las edificaciones, tanto en lo que se refiere al ahorro de energía eléctrica, como a la disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Estructura

El documento está estructurado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se hace una revisión del estado actual en que se encuentra el diseño y aplicación de las técnicas del control solar en edificaciones

En el segundo capítulo se describen los principios básicos del control solar⁷, su función y las soluciones arquitectónicas que reviste. En el tercer capítulo se hace el análisis del clima y de las condiciones bioclimáticas, para determinar las condiciones de frío, calor y confort a lo largo del año. Con base en esos resultados se obtienen los requerimientos de climatización, aplicados específicamente al caso de la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

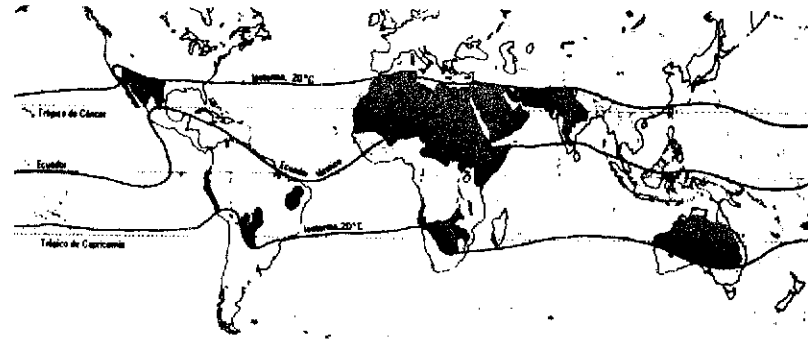
En el cuarto capítulo se presenta y aplica la metodología para el diseño de los elementos del control solar de acuerdo a los requerimientos de climatización obtenidos en el capítulo anterior.

En el quinto capítulo se lleva a cabo la evaluación del sistema de control solar diseñado en el capítulo anterior, cuantificando la disminución de la ganancia de calor al interior de la vivienda, así como el ahorro de energía eléctrica consumida por el equipo de climatización.

⁷ Cfr. Basado en Rodríguez, Manuel, *et al.*, (2001) *Introducción a la arquitectura bioclimática*

Por otro lado, y con base en los resultados anteriores, se hace una extrapolación, para el año 2010, del beneficio energético y ambiental que se obtendría si se emplearan los aleros y partesoles diseñados para el caso de La Paz, B.C.S., en todas las viviendas que Infonavit tiene planeado construir en varios estados de la República. Adicionalmente y para beneficio del lector, incluimos el apartado de Resultados, en el cual se resumen los beneficios de los resultados obtenidos gracias el empleo del control solar.

Finalmente se presentan las conclusiones, en las cuales se hace evidente la importancia, por una parte, de emplear elementos de control solar en las edificaciones para contribuir al logro del confort interno y, por otra, la de poder ofrecer el método para diseñar elementos de control solar en edificaciones en cualquier localidad, cuando se buscan condiciones de confort térmico interno así como lograr un ahorro de energía en las construcciones, energía que actualmente se desperdicia para climatizar.



Capítulo 1

Antecedentes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Antecedentes

En este primer capítulo se presenta el estado actual en el diseño y aplicación de los elementos de control solar. A escala mundial, las regiones cálidas ocupan más de una quinta parte del planeta, y se hallan principalmente en la franja intertropical con desviaciones ocasionales hacia el Ecuador o alejándose de él⁶. La figura 1.1 muestra en tono oscuro dichas regiones. Como se ve, la vasta extensión de las zonas cálidas viene a ser una especie de antecedente físico, que justifica sobradamente el interés en desarrollar las técnicas del control solar, tanto por el beneficio que representa para el confort del ser humano, como por su repercusión en el ahorro de energía.

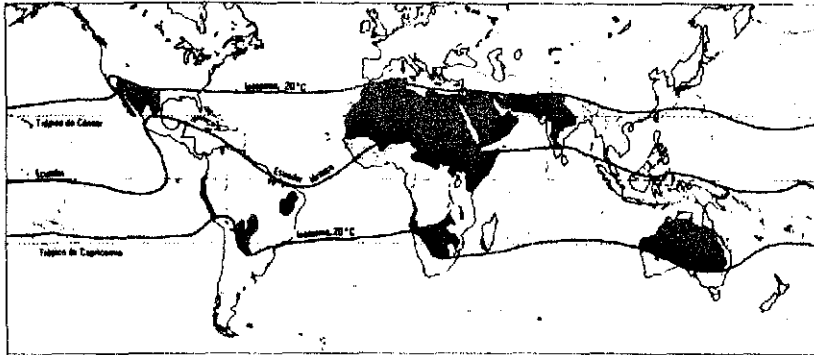


Figura 1.1. Regiones cálidas secas del mundo⁹

⁶ Comprende una parte de África, Medio Oriente, Australia, suroeste de los Estados Unidos, norte de México, entre otros.

⁹ Balwant, Singh Saini (1987) *Construcción en climas cálidos secos*. Editorial Limusa México, p. 7

1.1. Revisión bibliográfica

En la revisión bibliográfica efectuada se encontraron referencias sobre las aplicaciones del control solar en edificaciones, que buscan proteger el interior del calor excesivo. En algunos de esos trabajos se describe el método de diseño y su evaluación.

También se encontraron referencias de estudios de dispositivos que ayudan a controlar adecuadamente la ganancia de calor en espacios interiores. A continuación presentamos una breve reseña del desarrollo que guarda el análisis y diseño de los dispositivos de control solar y temas asociados.

Olgay, *et al.*, (1957) publicaron un método de cálculo para protecciones solares (aleros y partesoles). Definieron primeramente los periodos de sombra necesarios, con los datos de temperatura horaria y en base a la temperatura de confort. Luego tabularon las condiciones de sobrecalentamiento en una gráfica, cuyas coordenadas están dadas por los meses y horas, y vaciaron estos datos en una gráfica solar sobre la que colocaron gráficas con perfiles de sombra, para los diferentes elementos (horizontal, vertical, combinado). Calcularon dichos elementos para el 50 % y el 100% de sombra, pero solamente determinaron las horas en que los elementos interceptan la radiación, basados en las horas de sobrecalentamiento, es decir, cuando en ambos

semestres se repiten las mismas horas de calor, pero no calcularon la radiación que penetra al interior de una edificación.

Diecinueve años después **Givoni** (1976), en su segunda edición hace alusión al proceso originalmente publicado por Olgyay, mencionando que es de suma importancia determinar las horas y días en que se requiere el control solar, así como el empleo de los elementos (horizontales y verticales) en las diferentes orientaciones, de acuerdo al recorrido del sol en cada latitud (baja, media y alta). Indica además que se debe permitir el paso del sol en invierno a través de las ventanas.

Un año después **Koenigsberger, et al**, (1977) presentan un proceso para diseñar protecciones solares, tomando en cuenta la mancha de calor excesivo en el año sobre la gráfica solar. Presentan un ejemplo de aplicación, haciendo ajustes a una propuesta inicial para obtener las protecciones adecuadas, basándose únicamente en el número de horas que requieren protección, es decir, cuando se repiten en ambos semestres las horas de calor, pero no tomaron en cuenta los requerimientos de confort interno.

Dos años más tarde **Mazria** (1979) presentó la forma de determinar gráficamente la obstrucción del sol en ventanas con elementos de protección, utilizando un indicador de sombra que se sobrepone a una gráfica solar cilíndrica que corresponde a la latitud donde se haga el análisis. Así, se conocen las horas en las

que se tienen las obstrucciones en ventanas. Los ángulos se toman de cada parte transparente que tenga protecciones, y mostró sólo el perfil de sombra para protecciones horizontales, verticales y su combinación con 50% y 100% de sombra.

Diez años después **Rodríguez** (1989) publicó un artículo en el cual compara la obtención de la posición solar, para una hora determinada, por el método trigonométrico y gráfico, encontrando una discrepancia entre 3% y 5% en los resultados. Determinó las horas y los meses en que debe utilizarse protección contra la radiación, de acuerdo a un rango de confort entre 17°C y 24°C, para un muro con orientación dada. Determinó la ganancia de calor instantánea a través del vidrio, calculó el exceso de ganancia por convección a través de la ventana sin protección, finalmente diseñó la ventana para recibir iluminación con luz solar, considerando una orientación sureste, y determinó sus dimensiones.

Ese mismo año **Gómez** (1989) presentó un programa de cómputo que permite calcular las horas en que una edificación debe protegerse del sol. Además, el programa presenta gráficamente los resultados relativos a los ángulos de aleros y partesoles, para cualquier fachada, y permite que el diseñador pueda modificar los elementos para encontrar sus ángulos óptimos. Aplicó el método para una fachada orientada al sureste, en la ciudad de Morelia.

El mismo autor, **Gómez (1991)**, publicó un procedimiento para calcular y diseñar dispositivos de sombreado. Obtuvo los ángulos óptimos de los aleros para el caso específico de Colima. A diferencia del método propuesto por los hermanos Olgyay, éste calcula los dispositivos para un 100% de protección y determina los ángulos óptimos tomando en cuenta el diagrama de isorequerimientos y la eficiencia de los ángulos para ambos semestres.

Dos años después, **Morillón, D. (1993)**, presentó un estudio gráfico sobre el control solar (aleros). En el trabajo realizó cuatro variaciones en las dimensiones del ángulo, mediante las salientes y la altura de las mismas y calculó cada una de ellas, encontrando así la mejor opción para la losa viciera.

El año siguiente, **Morillón, J., et al. (1994)** presentaron el análisis de los elementos de protección solar que ya existían en un edificio del centro de Guadalajara, además de calcular los ángulos óptimos de los aleros para ocho orientaciones en dicha localidad

Un año después, ellos mismos, **Morillón, J., et al. (1995)**, presentaron los ángulos óptimos de protección solar con aleros para cinco localidades en el estado de Jalisco

Ese mismo año, **Pérez (1995)**, propone un método para el diseño de protecciones solares considerando factores de disminución

parcial de la radiación, que dependían de la orientación de las ventanas. Los factores se obtuvieron con un "programa de control de asoleamiento". Sin embargo, no explica el criterio para obtener esos factores.

Dos años más tarde **Baltazar, et al (1997)** publican un documento que presenta un programa de cómputo para diseñar protecciones solares, pero se refiere únicamente a la incidencia de los rayos sobre determinada fachada, sin tomar en cuenta los requerimientos internos de soleamiento o sombreado para obtener confort.

Al año siguiente, **Quiros (1998)**, presentó un programa de cómputo por medio del cual se obtienen unos transportadores con los que se determina la eficiencia de protecciones solares horizontales y verticales en ventanas. En dicha eficiencia únicamente se relaciona el porcentaje de sombra y sol incidente en la ventana.

También ese año **Raeissi, et al (1998)**, presentaron un modelo para predecir el efecto del empleo de aleros en la carga de enfriamiento necesaria en una vivienda popular en Irán, en una latitud de 30° norte. El modelo relaciona, tanto el ancho como la longitud del alero más allá de los límites de la ventana y la distancia entre la parte inferior de la ventana y el alero. Consideraron el ángulo de incidencia de la radiación, el área de la ventana y sus características (transmitancia, absorptancia y

reflectancia) así como la radiación directa y difusa reflejada por el suelo, encontrando finalmente que en el verano la carga de enfriamiento requerida se reduce 12.7% mientras que en el invierno la ganancia se incrementa sólo un 6%.

Al mismo tiempo **Trujillo** (1998), presenta un método de evaluación del desempeño de edificaciones, respecto a la radiación solar, que emplean elementos de control solar. Lo desarrolla en tres fases: en la primera considera el edificio sin elementos de control solar, en la segunda considera aleros en las fachadas y, en la última, completamente protegido por elementos de control solar. Hace 9 variaciones en cada una de esas etapas, obteniendo así 27 diagramas que muestran el comportamiento de la radiación hacia el interior de la edificación. Considera en el análisis, 2 fachadas orientadas al sur, una al norte, tres al este y tres al oeste, determinando de esta manera, que en la fachada norte se logró la mayor disminución del 27%.

Un año después, **Mejía, et al.** (1999), aplicaron el procedimiento descrito por **Gómez y Morillón** para el cálculo de aleros, en el caso específico de La Paz, B.C.S., obteniendo los ángulos óptimos para las ocho orientaciones principales. Este mismo año, **Saravia et al.** (1999), utilizando el mismo método calculó los ángulos óptimos de protección solar para El Salvador, en Centroamérica, para las cuatro orientaciones principales.

Por su parte, **Pérez, et al.** (1999), publicaron un método simplificado para calcular la ganancia directa en ventanas, en el cual relacionan las dimensiones de la superficie transparente con las dimensiones y ángulos de los elementos de protección y el movimiento del sol a través de la bóveda celeste. Sin embargo, no se presentan los datos ni las condiciones con los cuales fue calculada dicha ganancia y no se muestran resultados numéricos ni gráficos.

El mismo año **Kabre** (1999) presentó un programa de cómputo "Winshade", con el cual se puede obtener el diseño adecuado de elementos de control solar para la mayoría de las ciudades en India, Australia y Singapur. Está compuesto de tres módulos: análisis del clima, diseño de los elementos de control solar y el módulo de optimización de resultados. El autor presenta la aplicación para un edificio localizado en Nueva Delhi, con una ventana orientada al sur y durante el periodo marzo – septiembre. El programa presenta gráficamente los resultados y permite relacionarlo con Auto Cad, lo cual facilita su visualización en el proyecto. Además, permite cuantificar la ganancia de calor al interior utilizando varios tipos de vidrio propuestos en el programa, y contempla a futuro la incorporación de un análisis costo beneficio entre el uso de equipo de climatización y el costo de los dispositivos de control solar.

Ese mismo año, Terrazas (2000), presentó una tesis de maestría, en la que se plantea la necesidad del control solar en Ciudad Juárez, Chihuahua, que cuenta con clima extremoso. Determina los ángulos de control solar para elementos en fachadas norte y sur, basado en la gráfica solar de la localidad, en los meses de verano e invierno y para las horas en las que se requiere de la protección o paso de la radiación.

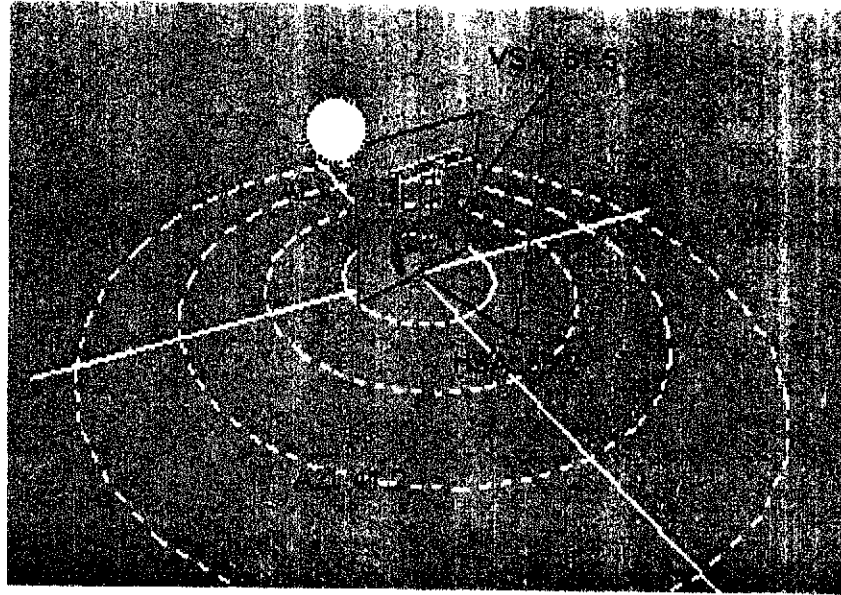
La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía Conae (2001) junto con distintas instancias, publicaron en el Diario Oficial de la Federación, la "Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales". Su objetivo es limitar la ganancia de calor por conducción y radiación solar a través de la envolvente de edificios no residenciales y presenta las herramientas para el cálculo de la ganancia de radiación solar con elementos de protección solar (volados, ventanas remetidas y partesoles) en edificaciones no residenciales, en donde se afecta el factor de ganancia de acuerdo a la protección, orientación y latitud.

1.2. Conclusiones de la revisión bibliográfica

Mediante el análisis de las referencias anteriores podemos constatar que se ha venido dando mayor importancia al tema del adecuado diseño térmico de los edificios, y en particular al empleo de los elementos de control solar en la arquitectura.

- Se han hecho estudios y aplicaciones de sistemas de control solar, como los aleros y los partesoles, para las ventanas y se ha determinado la importancia que éstas tienen respecto a la ganancia de calor que proporcionan y al logro de las condiciones de confort interior, de acuerdo a los requerimientos de climatización.
- Se han hecho aplicaciones y en algunos casos se han hecho aportaciones al método de diseño original de control solar propuesto por los hermanos Olgyay. Ejemplo de ello es Gabriel Gómez Azpeitia, que se basa en el diagrama de isorrequerimientos para el diseño de los aleros, en donde se obtienen los ángulos óptimos de acuerdo a la eficiencia de los aleros para ambos semestres. Sin embargo, es necesario complementar dicho método con la parte del diseño de los elementos verticales (partesoles), y de esta manera obtener también el diseño combinado de ambos elementos de control solar.
- Es necesario también validar la eficiencia de estos dispositivos, es decir, cuantificar la radiación para obtener una mayor protección solar en verano y permitir el paso de una parte de ésta en invierno, de acuerdo a los requerimientos de climatización. Esto permite determinar las cargas térmicas internas y permite conocer el potencial de energía eléctrica que se pueda ahorrar en equipos de climatización, así como la disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

De acuerdo a lo visto en este capítulo, nos damos cuenta que el empleo de los sistemas pasivos de control térmico ha estado presente en la arquitectura desde la antigüedad. Sin embargo, durante mucho tiempo se ha hecho caso omiso de la necesidad de estudiar y conocer el clima para poder construir viviendas que estén en equilibrio térmico con el medio que las rodea. En lugares cálidos, como por ejemplo en Baja California Sur, así como en muchos otros lugares del país, los profesionistas de la construcción se han olvidado de este equilibrio y han contribuido en gran medida a los problemas de climatización en las actuales edificaciones. Es por ello necesario retomar este conocimiento responsablemente y aplicarlo en edificaciones futuras. A escala tanto nacional como internacional se han hecho investigaciones al respecto, con la finalidad de obtener diseños de edificios térmicamente adecuados para diversos climas, de acuerdo a los requerimientos de confort del ser humano y a un uso más racional de los recursos energéticos.



Capítulo 2

Control solar en la arquitectura

Control solar en la arquitectura

2.1. Principios básicos del control solar

El planeta y la vida en él, están inmersos en una atmósfera en donde las características del clima tienen un importante efecto en los procesos de la vida. Todas las criaturas están expuestas a cambios extremos de calor y frío, pero tienen forma de regular estos efectos de manera natural dentro de ciertos rangos. Cuando este rango comienza a excederse, sea por exceso de frío o calor, el cuerpo humano experimenta sensaciones crecientes de molestia y malestar, hasta niveles prácticamente insoportables. Más allá de estos límites, el organismo perece.

Los elementos climáticos, temperatura, humedad, viento y radiación solar juegan un papel importante en esta adaptación y pueden ser controlados o regulados para neutralizar sus efectos indeseables sobre el ser humano. La radiación solar, por ejemplo, es el más importante contribuyente natural de la ganancia de calor en las edificaciones. Es bienvenida en la época de frío, mientras que es importante protegerse de ella en la época de calor.

Para comprender mejor estos fenómenos térmicos, conviene recordar que el ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la Tierra varía día con día de diferente manera, en cada latitud y época del año. En latitudes cercanas al ecuador, la radiación es más perpendicular sobre la horizontal, y mientras más cercana a

los polos se localice una latitud, más oblicua incidirá dicha radiación sobre la horizontal.

En los solsticios de verano e invierno los rayos solares son más oblicuos, mientras que en los equinoccios de primavera y otoño los rayos solares son más perpendiculares.

La radiación también varía sobre las superficies, de acuerdo a la orientación que presenten las mismas. En las latitudes cercanas al ecuador, la superficie horizontal es la que recibe mayor radiación, y en el hemisferio norte la superficie vertical orientada al sur es la que mayor incidencia recibe mientras más al norte se localice (figura 2.1).

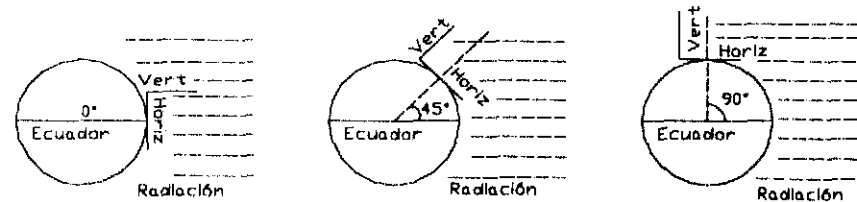


Fig 2.1 Incidencia de la radiación solar en diferentes latitudes

En los climas cálidos la radiación solar es abundante y consecuentemente las temperaturas son elevadas.



generalmente todos los días, sobre todo durante el verano, y un poco menos en época de invierno.

Dado que la radiación incide sobre las edificaciones, es importante considerar las características de la envolvente arquitectónica, como son: forma, orientación, ubicación, dimensiones de las partes opacas y transparentes y las características de los materiales de construcción. Dependiendo de la forma en que todas estas características interactúen en conjunto, la edificación tendrá un comportamiento térmico determinado.

A continuación se ilustran los distintos flujos de calor, para el caso de una edificación ubicada en New York, latitud 40° N (fig. 2.2).

En esa figura se puede apreciar que son las ventanas las que permiten la mayor penetración de flujo de calor al interior del edificio. De hecho, la orientación de las partes transparentes juega un papel muy importante en el comportamiento térmico de cualquier edificación, ya que es a través de éstas que penetra la radiación solar al interior instantáneamente, elevando la temperatura del inmueble. A este incremento de la energía térmica interna se le denomina "ganancia de calor", medida en W/m^2 , y es un índice directamente asociado con la condición del confort interno de una edificación y con el ahorro de energía, como se verá ampliamente en los capítulos subsecuentes.

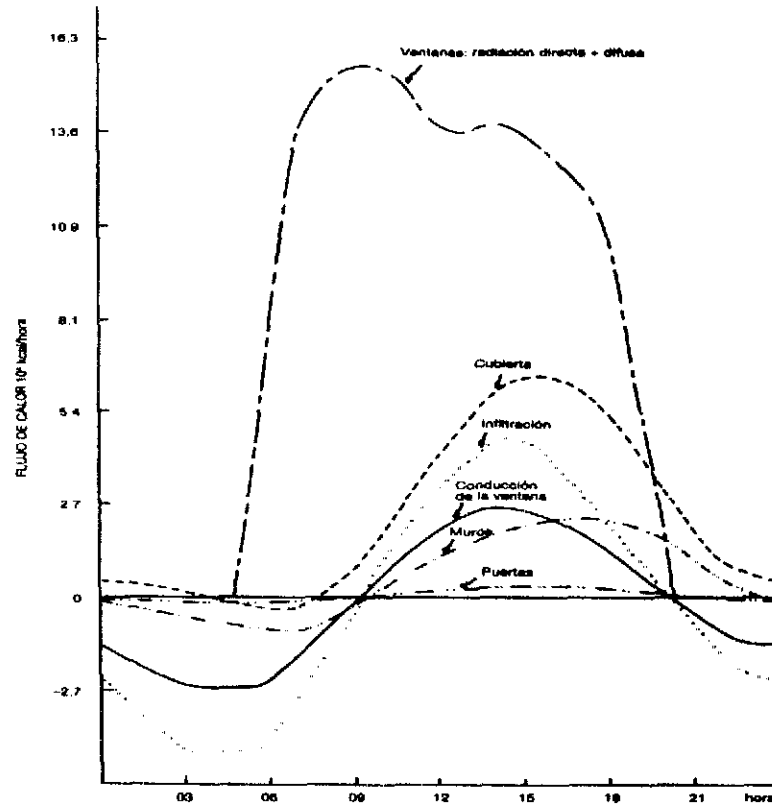


Fig. 2.2. Flujo de calor a través de los diferentes elementos arquitectónicos¹⁰

Con lo anteriormente expuesto puede fácilmente comprenderse que una de las técnicas básicas de la protección o control solar consiste en la utilización de algún tipo de barrera que selectivamente obstruya o intercepte la radiación solar que

¹⁰ Para una edificación en New York latitud 40°, En donde muros y techos están formados por elementos aislantes Olgay (1963) Arquitectura y clima Edit. G.G. p. 72



incide sobre las partes transparentes (ventanas, superficies acristaladas) de una edificación, de acuerdo a los requisitos de confort interno.

Consecuentemente, el nivel de protección solar depende de la localización de la barrera y su efectividad aumenta según se sitúe detrás, en la superficie o delante de la ventana (superficie acristalada).

- Los elementos de protección solar en el interior interceptan la radiación que pasa a través de la ventana y pueden eliminar hacia el exterior sólo la parte que puede pasar nuevamente por el vidrio.
- Si la radiación se intercepta en la superficie acristalada, la energía se irradiará tanto al interior como al exterior.
- Si la radiación se intercepta por medio de elementos externos colocados delante de la ventana, estos disiparán al aire exterior la porción de energía que reciben. La función de estos dispositivos, denominados **elementos de control solar**, llamados de control solar, es la de regular el paso de la radiación solar a través de las partes transparentes de las edificaciones

Más aún, si estos elementos opacos se diseñan y construyen adecuadamente, interceptarán toda la radiación solar directa y una parte considerable de la radiación difusa. Si estos dispositivos se formulan de acuerdo a la cambiante trayectoria solar estacional, se

puede lograr el sombreado en la época de verano y el soleamiento durante el invierno. Para lograr esto, es decir, para obtener un equilibrio del confort interno relativamente constante, deberá atenderse cuidadosamente a la localización, la latitud y la orientación, ya que todos estos factores juegan un papel en la formulación de un dispositivo efectivo y eficiente.

2.2. Elementos de control solar

- Horizontal (alero)
- Vertical (partesol)
- Combinación de ambos

2.3. Alero

El alero es un dispositivo horizontal que sobresale de la parte superior de la ventana y que obstruye la componente vertical de la radiación solar. Los aleros se especifican o caracterizan según su ángulo de protección, formado por el plano horizontal en la base de la ventana y una línea imaginaria que une la parte más sobresaliente del alero con el punto más bajo de la ventana (figura 2.3).

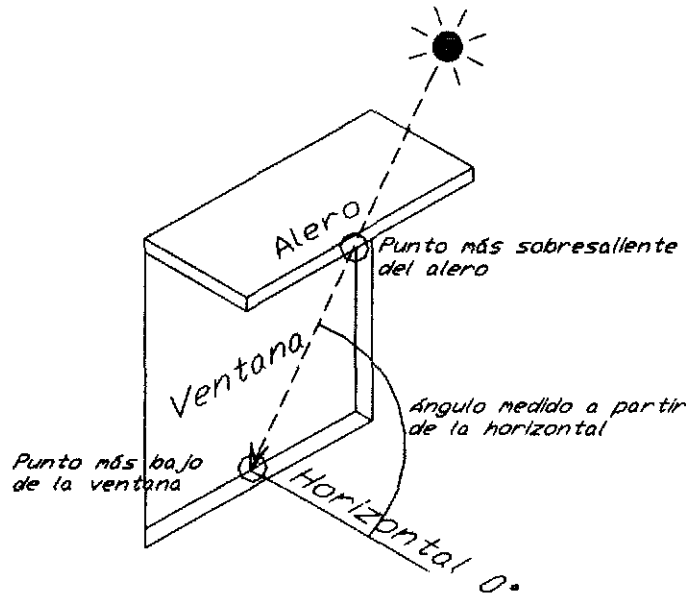


Fig. 2.3 Alero

De acuerdo a la definición anterior, conviene distinguir los siguientes casos específicos, para mejor comprensión del rango de protección, o de sombreado, del alero.

a) Un alero cuyo ángulo de protección sea de 0° corresponderá a un alero de longitud infinita que obstruirá toda la radiación solar, todo el tiempo (figura 2.4).

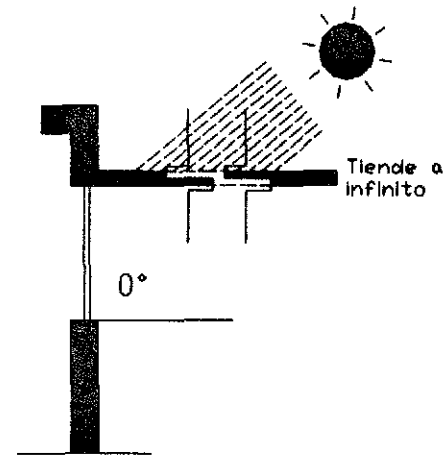


Fig 2.4 Alero 0°

b) Un alero cuyo ángulo de protección es de 90° , equivale a la completa ausencia o inexistencia del alero y por consiguiente toda la radiación solar incidirá sobre la ventana (figura 2.5).

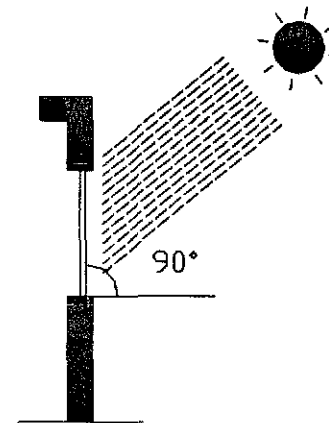


Fig. 2.5 Alero 90°

c) Entre los dos casos extremos arriba mencionados tenemos los aleros prácticamente útiles, es decir, cuando el ángulo de protección sea mayor de cero grados y menor de 90° parte de la radiación será obstruida (sombra) y otra parte incidirá sobre la ventana (figura 2.6)

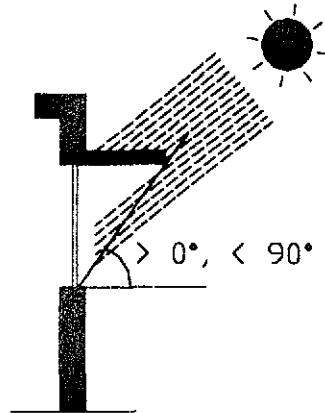


Fig. 2.6. Alero mayor de 0° y menor de 90°

2.4. Partesol

El partesol es cualquier elemento vertical cercano a la ventana que obstruye la componente horizontal de la radiación solar sobre todo en las horas cercanas a la salida y puesta del sol y, consecuentemente, los partesoles se especifican según su ángulo de protección, definido por el plano vertical de la ventana y por una línea imaginaria que une el punto más sobresaliente del partesol con el extremo opuesto de la ventana (figura 2.7)

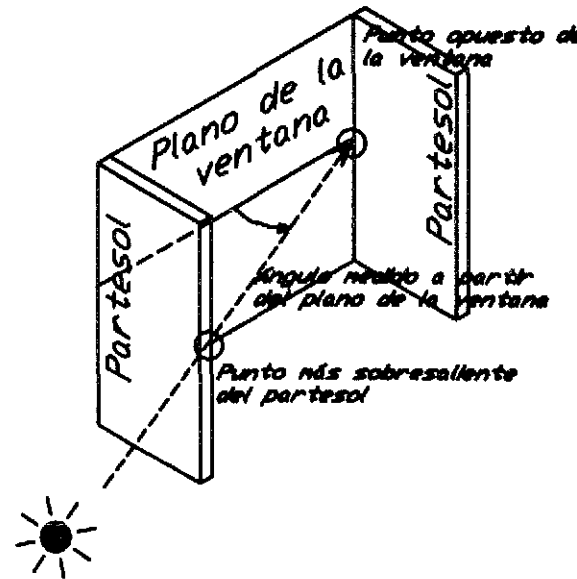


Fig. 2.7 Partesol

Al igual que en el caso de los aleros, conviene hacer las mismas distinciones para los partesoles

a) Cuando el ángulo del partesol sea cero grados, significa que no existe el partesol y por lo tanto toda la radiación solar incide sobre la ventana (figura 2.8, en planta).

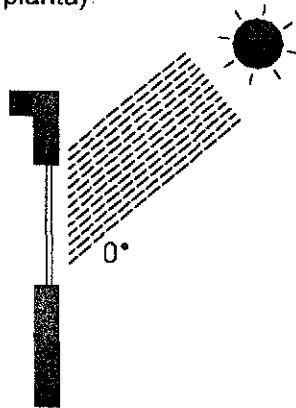


Fig 2.8. Partesol 0°

b) Cuando el ángulo de protección sea 90°, significa que el partesol tiende a infinito y por lo tanto obstruirá totalmente el paso de la radiación solar todo el tiempo (figura 2.9).

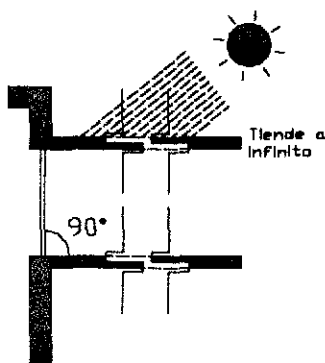


Fig 2.9. Partesol 90°

c) Cuando el ángulo de protección sea mayor de 0° y menor de 90°, parte de la radiación solar incidente será obstruida por el partesol y otra parte pasará a través de la ventana (figura 2.10).

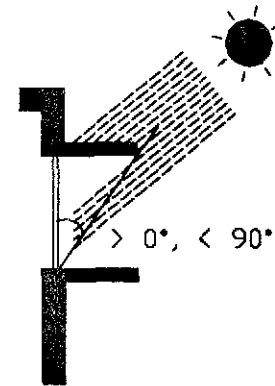


Fig 2.10. Partesol mayor de 0° y menor de 90°

Una forma práctica de representar esta protección relativa que ofrecen aleros y partesoles, se logra mediante las llamadas "mascarillas de sombreado", en las cuales se muestra a cada 10°, desde el horizonte hasta el zenit (para los aleros), y desde el sur hasta el norte (para los partesoles) la obstrucción relativa (según el ángulo de protección) que presentan dichos elementos a la radiación solar (figura 2.11).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

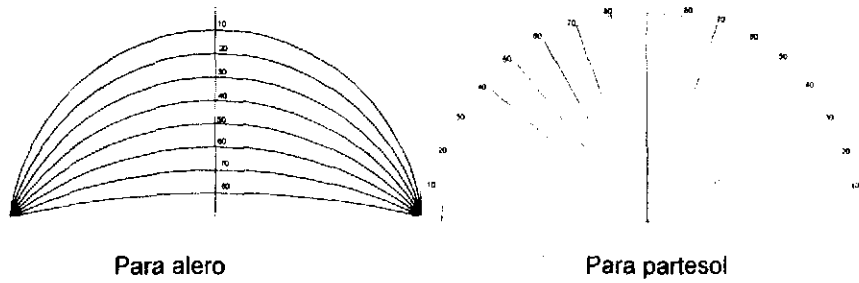


Fig 2.11. Mascarillas de sombreado

Otra herramienta que hemos de utilizar para el diseño de aleros y partesoles es la "gráfica solar", que es un dibujo o gráfica que muestra, para cada latitud, la posición del sol sobre la bóveda celeste, tanto en altura como en azimut, para cada mes y hora del día. Los círculos concéntricos, espaciados a cada 10°, representan la altura solar. El círculo más externo corresponde a 0° y representa el horizonte, mientras que el punto central corresponde a 90° y representa el cenit. Las líneas radiales que parten del centro hacia la periferia, espaciadas a cada 10°, representan el azimut solar medido a partir del sur, siendo positivo al Este y negativo al Oeste. A este método de representación se le denomina "método equidistante". Los puntitos negros representan la posición del sol a cada hora del día (unidos por líneas de norte a sur) y en cada uno de los meses del año (unidos por líneas de Este a Oeste). La información así plasmada representa las rutas o trayectorias solares (figura 2 12)

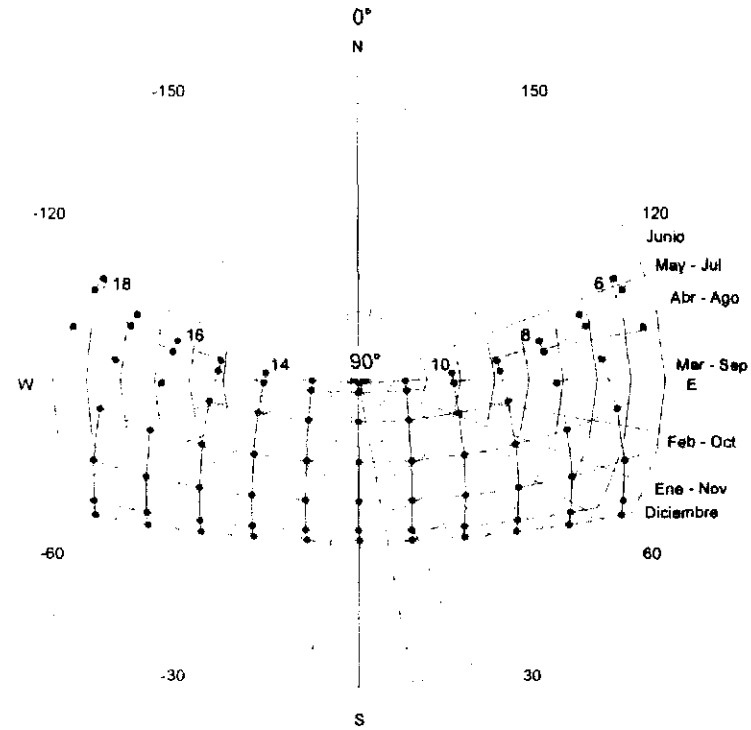


Fig 2 12. Ejemplo de gráfica solar

Se recordará que el diagrama de isorequerimientos muestra las condiciones de confort, frío y calor durante las 24 horas del día y los 12 meses del año, para una cierta localidad. Estos resultados, al vaciarse sobre la gráfica solar correspondiente (sombreado la zona de confort y calor), permiten visualizar las condiciones de frío, confort y calor asociadas a las trayectorias solares. Si sobre una gráfica solar en la que se ha plasmado toda esta información, se sobrepone la mascarilla de

sombreado que corresponde a un alero o a un partesol, se podrá cuantificar, para cada ángulo de protección, las horas que requieren sombra y, sin embargo, quedan fuera de la protección del elemento y las horas que requieren sol y si quedan fuera de la protección del mismo (figura 2.13).

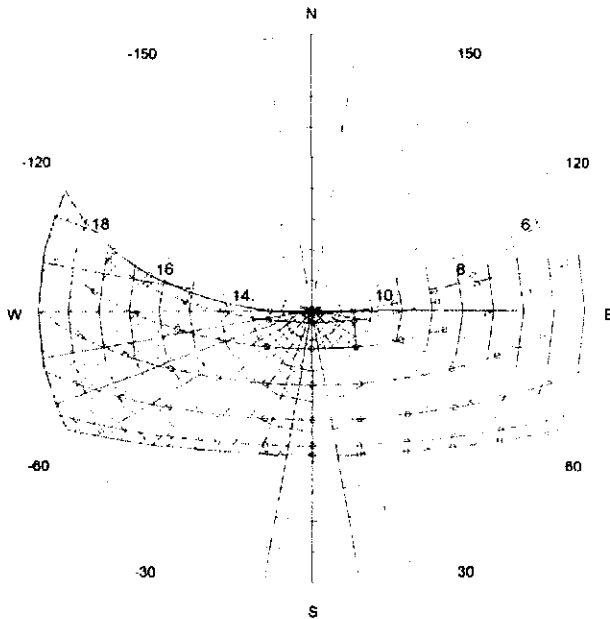


Fig. 2.13 Zona oscura requiere protección solar

Por lo tanto, la eficiencia de aleros y partesoles en el periodo de calor, será mayor mientras más horas que requieren protección vayan quedando cubiertas por la sombra del elemento, e inversamente, en el periodo de frío, la eficiencia será mayor mientras más horas que requieran soleamiento vayan quedando fuera de la protección (sombra) del alero o partesol.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es fácil comprender que la efectividad de los elementos de sombreado o de protección solar, depende del éxito relativo con que cubran una superficie dada durante el periodo de calor sin interceptar la energía del sol durante el periodo de frío, de acuerdo a los requerimientos internos de climatización. Por tanto, la eficiencia de tales dispositivos deberá juzgarse en base a su funcionamiento anual y al equilibrio o proporción relativa entre su funcionamiento como elemento sombreador y su funcionamiento como elemento que permita el paso de la radiación solar (figura 2.14).

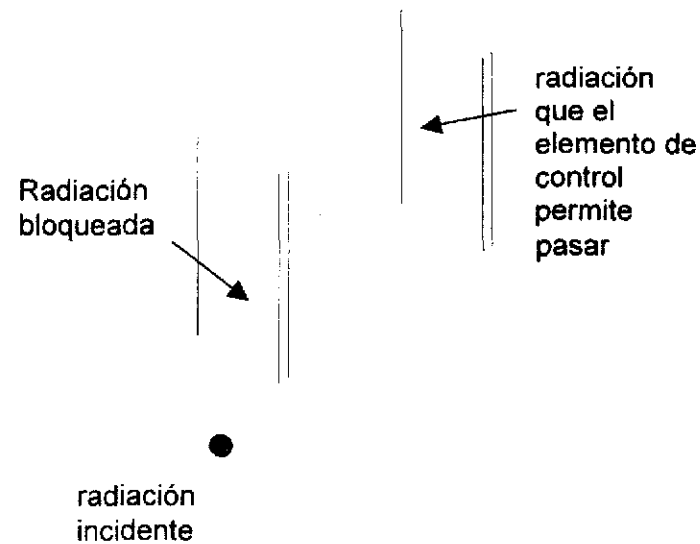


Fig 2.14. Eficiencia del control solar

Lograr el mejor compromiso entre estos dos requerimientos es el objetivo del diseño del control solar, como se verá en el capítulo 4, el cual permite calcular el ángulo óptimo de protección, de aleros y partesoles, que satisface óptimamente las necesidades internas de confort a lo largo del año

Una vez obtenido el ángulo óptimo de protección solar para cada elemento, éste puede asumir diferentes formas, respetando sin embargo, el mismo ángulo de protección (figuras 2.15 y 2.16).

Alero (alzado)

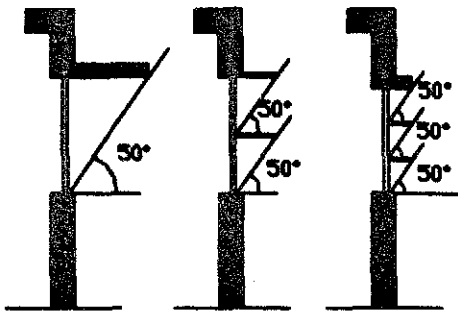


Fig. 2.15 Ángulo óptimo alero, diferentes soluciones arquitectónicas

Partesol (en planta)

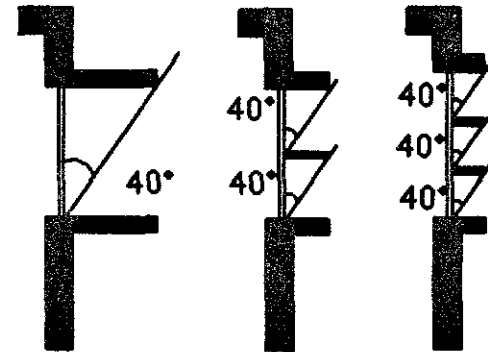


Fig 2.16 Ángulo óptimo partesol, diferentes soluciones arquitectónicas

2.5. Soluciones arquitectónicas de los elementos del Control solar¹¹

Dado que los dispositivos de control solar tienen que ubicarse en la parte exterior de una edificación, es decir, en las fachadas, se convierten en elementos arquitectónicos que adquieren diferentes soluciones o expresiones visuales.

A continuación revisaremos las principales soluciones arquitectónicas, es decir, las distintas formas en que estos elementos pueden materializarse, ilustrados con algunos ejemplos:

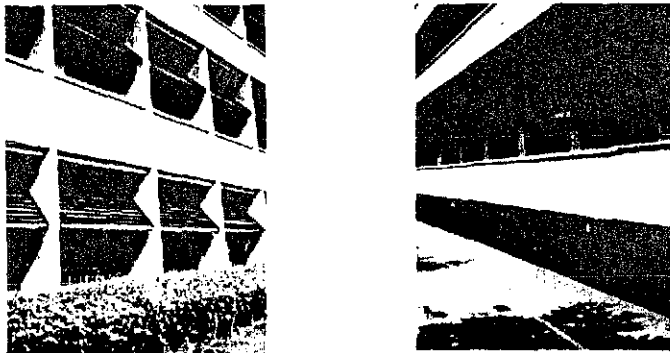
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹¹ Las figuras de la 2.18 a la 2.32 fueron tomadas del libro *Introducción a la Arquitectura Bioclimática* (2001) Rodríguez Viqueira, et al.

- Horizontales: Alero o voladizo, pórtico, repisa, persiana horizontal, faldón, pantalla, pérgola, toldo, techo escudo.
- Verticales: Partesol o quiebrasol, persiana vertical, muro escudo.
- Combinados: Marco, celosía, remetimiento de ventana, cambio de orientación de ventana, contraventana.

2.6. Elementos horizontales

Alero o voladizo. Se refiere a cualquier elemento de protección que sobresale de la fachada, y se utilizan tanto para proteger la fachada misma como andadores o banquetas, para proteger del sol o la lluvia, y pueden adoptar la forma de tipo pergolado, rejilla o elemento perforado o translúcido (fotos 2.1 y 2.2).



Fotos 2.1 y 2.2 Alero o voladizo

Pórtico. Espacio cubierto sostenido por arcos o columnas que forman un espacio, generalmente de transición, entre espacios abiertos y cerrados.

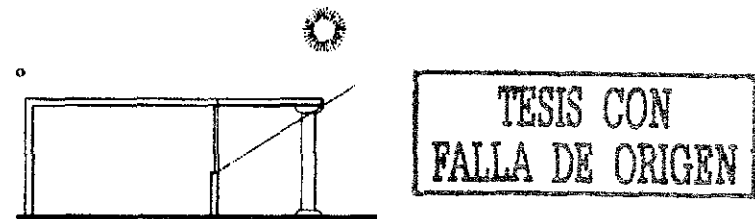


Fig 2.17 Pórtico

Repisa. Volados a manera de ménsula, ubicados dentro del claro de la ventana.

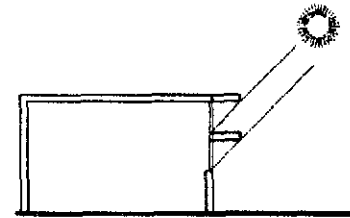


Fig 2.18. Repisa

Persiana horizontal. Dispositivo formado por elementos horizontales, pueden ser exteriores o interiores, fijos o móviles.



Fig. 2.19. Persiana horizontal

Faldón. Elemento vertical que pende del alero. Puede ser macizo, tipo persiana o celosía.

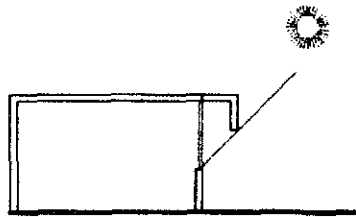


Fig 2.20. Faldón

Pantalla. Elemento vertical colocado frente a la ventana que, a diferencia del faldón, no está unida al alero, aunque puede estar suspendida de él.

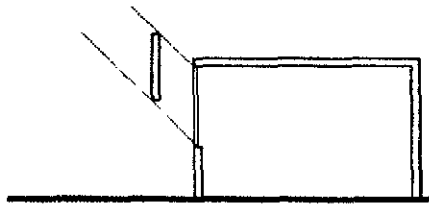


Fig 2.21. Pantalla

Pérgola. Viguería o enrejado abierto a manera de techumbre, empleado con pergolados tipo persiana o rejilla.

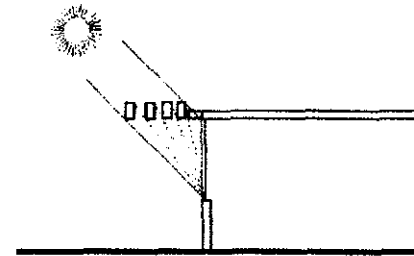


Fig. 2.22 Pérgola

Toldo. Cubierta fija o plegable con lona o algún tipo de tela. Puede ser cóncavo o convexo, translúcido u opaco, flexible o rígido.

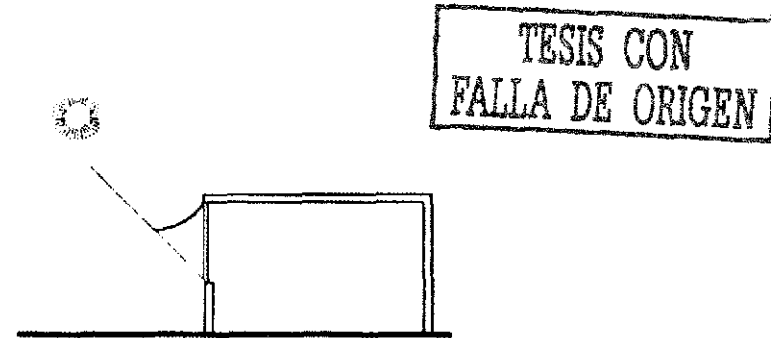


Fig 2.23. Toldo

Techo escudo Doble techumbre con espacio interior o cámara de aire ventilada.

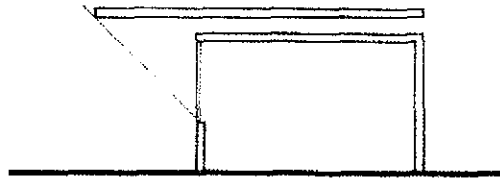
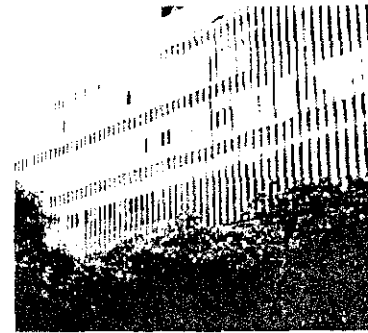
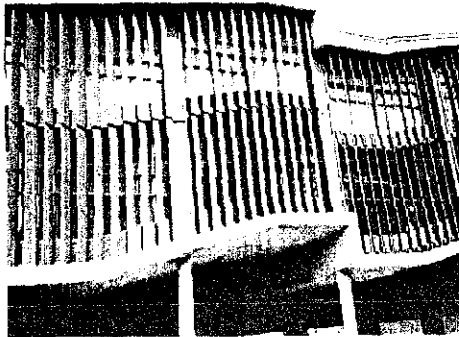


Fig. 2.24. Techo escudo

2.7. Elementos verticales

Partesol o quiebrasol. Es el elemento vertical que sobresale de la fachada, y que puede colocarse perpendicular u oblicuamente con respecto a la fachada, como parte de ella o como elemento separado.



Fotos 2.3 y 2.4 Quiebrasol o partesol

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

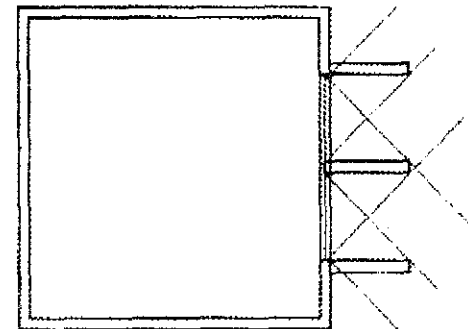
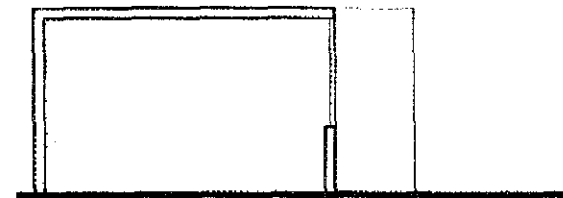


Fig. 2.25. Partesol

Persiana vertical. Formado por tabillas de diversos materiales que pueden ser exteriores o interiores y fijas o móviles en su eje vertical.

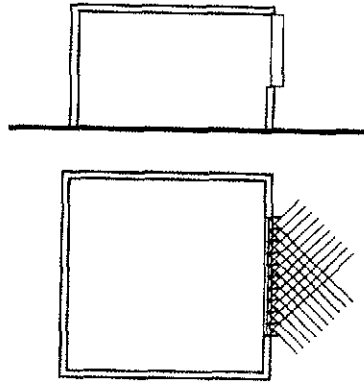


Fig2.26 Persiana vertical

Muro escudo. Muro doble con espacio interior o cámara de aire ventilada.

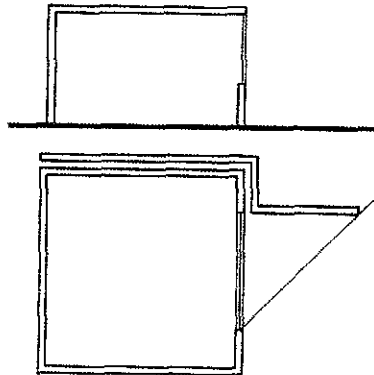


Fig. 2.27. Muro escudo

2.8. Elementos combinados

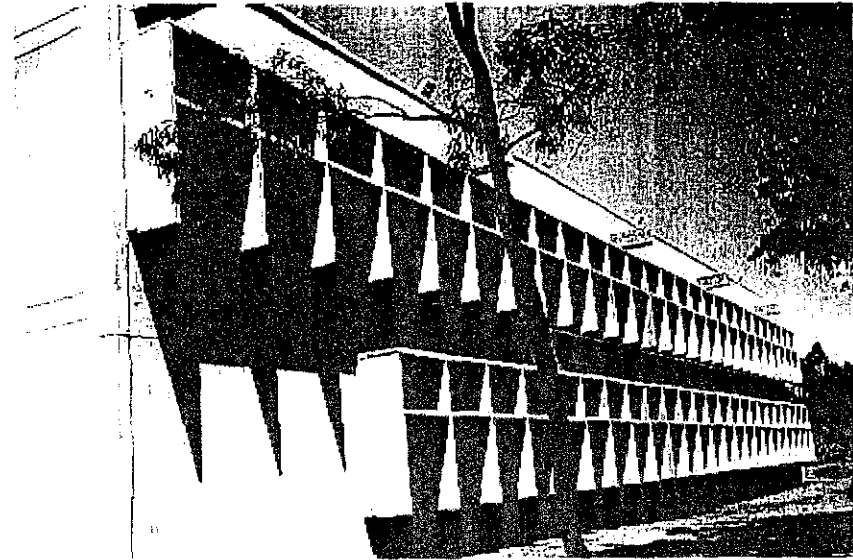


Foto 2.5. Combinación de elementos

Marco. Formado por la combinación de alero y partesol para proteger el perímetro de la ventana.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

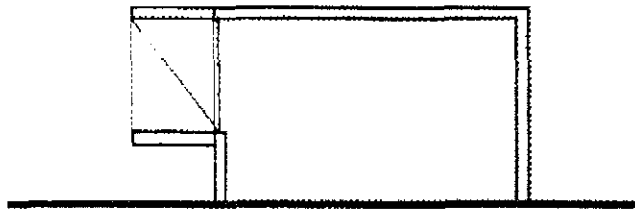
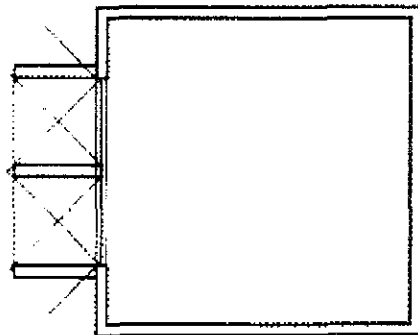


Fig 2 28 Marco



Celosía. Combinación de elementos horizontales y verticales o cualquier otro tipo de entramado, usado también como protección visual

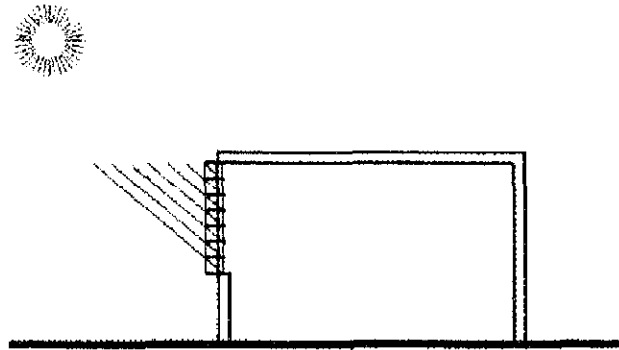
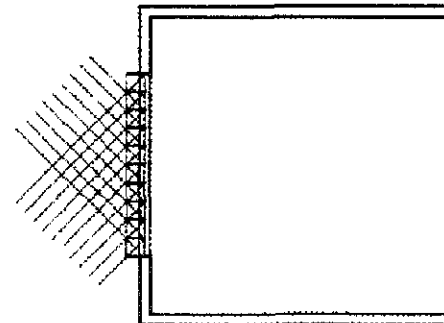


Fig. 2 29. Celosía



Remetimiento de ventanas. Remetimiento que se hace del acristalamiento para que quede protegido del sol.

Cambio de orientación de ventanas. Cuando la orientación de la fachada no es la adecuada, puede cambiarse la orientación de las ventanas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

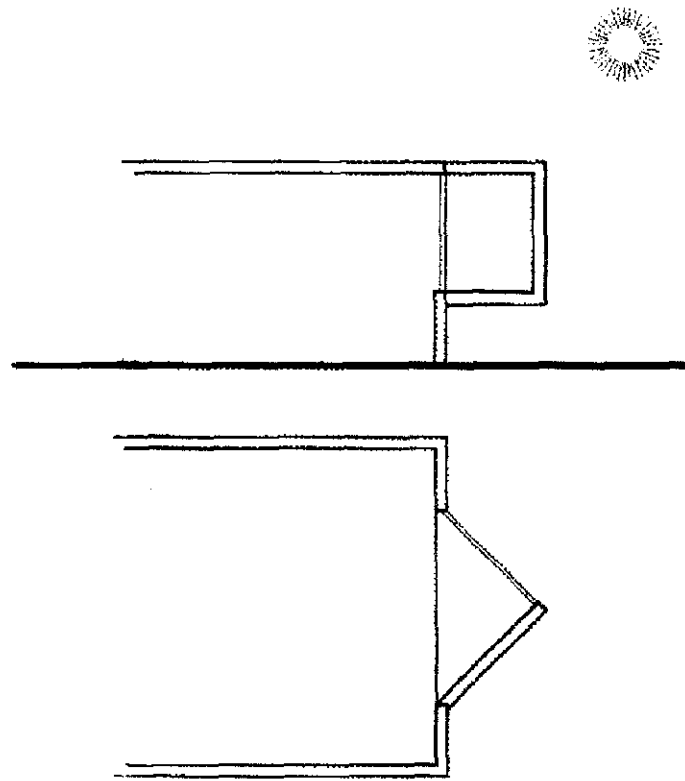


Fig 2 30. Cambio en orientación de ventanas

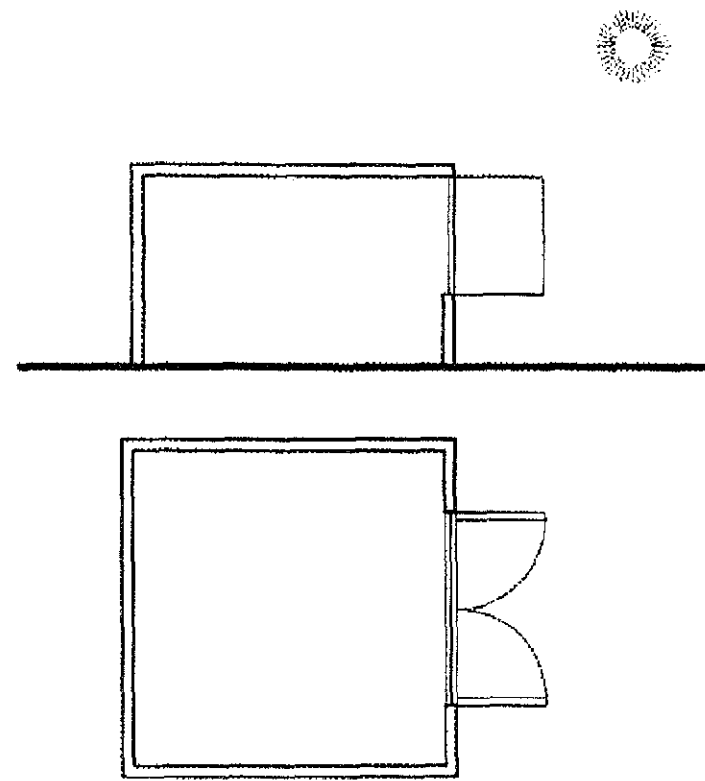
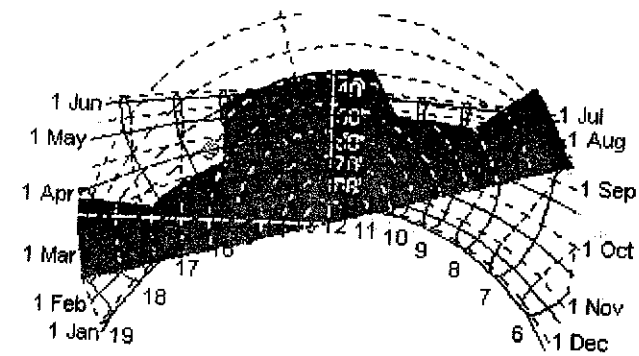


Fig. 2 31 Contraventanas

Contraventanas o postigos. Tipo persiana o celosía, de hoja completa o seccionada y puede ser exterior o interior

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Capítulo 3

Requerimientos de control solar: clima cálido seco, caso La Paz

Requerimientos del control solar: clima cálido seco, caso La Paz

Se ha seleccionado para este estudio el caso de la ciudad de La Paz, B.C.S., debido a que se trata de una localidad con clima cálido-seco, como es común en el norte del país, y en donde los requerimientos de climatización para enfriar son bastante importantes. Comenzamos por presentar y analizar los factores del clima como son: temperatura, humedad, viento y radiación solar¹², para dicha ciudad. La interrelación de estos factores nos permitirá determinar las características bioclimáticas de la localidad y, en función de éstas, conocer los requerimientos de climatización, así como analizar las condiciones de confort del ser humano. Para esto último nos apoyamos en el diagrama bioclimático de Olgay y la carta psicrométrica de Givoni. Al conjuntar esta información se manifiestan los requerimientos de climatización necesarios para obtener confort en el interior de una edificación y para definir los requerimientos de control solar en un proyecto de vivienda, tipo Infonavit¹³

3.1. Análisis del clima

La Paz se encuentra localizada en el estado de Baja California Sur, ubicada al noroeste del país y en las coordenadas geográficas: latitud 24.15° N, longitud 110 36 ° W y una altura de 10 msnm (fig 3.1).

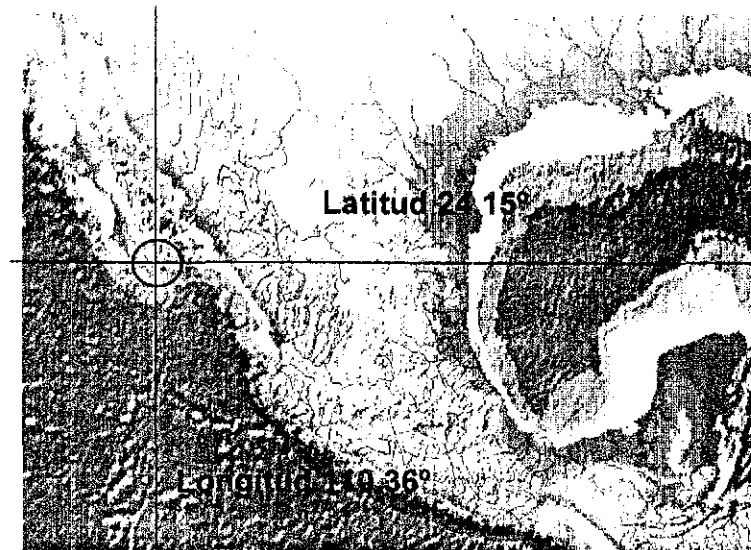


Fig. 3.1 Ubicación geográfica de La Paz, Baja California Sur

El clima según la clasificación climática de Köppen es cálido-seco, de acuerdo a los siguientes datos climatológicos.¹⁴ (tabla 3.1)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹² Datos de temperatura, humedad viento obtenidos tanto de las Normales Climatológicas (1951-1980) y Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976) *Atlas del agua de la República Mexicana*

¹³ Cfr. González, Eduardo, et al (1986) *Proyecto clima y arquitectura*. Universidad del Zulia. Tomo I. Ed G Gili, México

¹⁴ García de Miranda, Enriqueta (1989) *Apuntes de climatología*, Sexta Edición, UNAM, México, D.F., pp. 107,108

Temperatura °C

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Máxima extrema	30.5	34.5	35.2	39.0	40.4	41.5	43.1	42.0	40.0	39.0	36.2	33.2	43.1
Promedio máxima	22.7	24.2	26.3	29.4	32.6	33.7	35.5	35.4	34.7	32.4	28.5	24.6	30.0
Media	17.9	18.8	19.9	22.2	24.6	26.5	29.2	29.7	29.1	26.6	22.9	19.5	23.9
Promedio mínima	12.6	12.9	13.2	14.8	16.8	19.1	23.3	23.9	23.5	20.4	16.8	13.7	17.5
Minima extrema	2.2	1.9	4.0	5.0	7.2	8.0	13.6	18.0	13.0	11.0	6.6	5.0	1.9
Oscilación	10.1	11.3	13.1	14.6	15.8	14.6	12.2	11.5	11.2	12.0	11.7	10.9	12.5

Humedad relativa media %

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Promedio de mínima	44.0	37.0	35.0	32.0	30.0	31.0	40.0	44.0	46.0	43.0	41.0	41.0	38.7
Humedad relativa media	69.0	62.0	62.0	61.0	60.0	59.0	60.0	64.0	65.0	64.0	64.0	65.0	62.0
Promedio de máxima	88.0	83.0	81.0	77.0	74.0	74.0	82.0	85.0	87.0	86.0	85.0	86.0	82.3

Precipitación mm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Máxima en 24 hrs	66.7	16.0	18.0	21.6	4.2	35.0	66.0	77.0	179.0	75.2	60.0	43.5	179.0
Máxima	124.0	29.0	20.0	22.6	5.4	35.0	77.0	132.6	381.6	75.2	100.0	78.8	381.6
Media	14.7	3.5	2.0	1.1	0.2	2.4	13.2	36.4	65.3	12.7	5.4	20.1	177.0
Mínima	0.3	1.0	1.0	1.6	5.4	0.8	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0.3

Fenómenos especiales (días por mes)

Lluvia apreciable	1.62	0.65	0.28	0.16	0.08	0.32	1.53	3.58	3.43	1.38	0.50	2.30	15.83
Lluvia inapreciable	1.11	1.00	0.44	0.33	0.16	0.28	1.76	2.79	2.34	1.23	0.58	1.21	13.23
Despejados	14.65	16.67	19.34	20.00	24.41	24.75	14.24	11.17	14.07	20.86	17.62	16.13	213.91
Medio nublados	11.34	8.89	9.31	8.10	5.62	4.86	13.82	14.46	12.28	7.73	9.55	10.41	116.37
Nublados/cerrados	5.00	2.67	2.34	1.89	0.96	0.37	2.93	5.35	3.64	2.40	2.82	4.44	34.81
Rocío	12.59	11.48	12.50	9.60	0.00	0.00	0.00	1.29	2.50	1.36	4.21	6.16	61.69
Granizo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heladas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tormentas eléctricas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.25	0.50	0.03	0.00	0.00	0.81
Niebla	1.93	1.21	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.24	0.96	4.54
Nevada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 3 1. Normales climatológicas¹⁵¹⁵ Fuente: Normales climatológicas de la estación meteorológica de La Paz, B.C.S., periodo 1951 a 1980

En la clasificación climática de Köppen se determina el clima con los datos de temperatura media anual y el régimen de lluvias. Enriqueta García hace modificaciones al sistema de Köppen, ella determina para la ciudad de la Paz un clima **BW(h') hw (e)**.¹⁶

los aspectos que inciden en el confort térmico, es decir, el aspecto del confort térmico interno (Olgay) y los aspectos térmicos relativos a la envolvente arquitectónica (Givoni).

Grupo y sub grupo climático:	BW	cálido desértico
Condiciones térmicas:	(h')h	variación anual 22° Temp. del mes más frío bajo 18° C
Régimen pluviométrico:	w	régimen de lluvias en verano
Oscilación térmica anual:	(e)	entre 7° y 14° C

Dentro de estos valores, encontramos que las características particulares del clima de La Paz B.C S. son las siguientes:

Temperatura media anual: 23.9 °C

Oscilación térmica anual: 12.5 °C

Humedad relativa media anual: 62 %

Precipitación media anual 177 mm

Consideraremos ahora, por separado, cada uno de estos factores, para apreciar posteriormente como se interrelacionan al determinar el bioclima de esta ciudad. Esto implica ocuparnos de

¹⁶ García de Miranda, Enriqueta (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Cuarta Edición, México, D.F.

3.2. Temperatura

Se tiene una temperatura media anual de 23.9 °C, con temperaturas medias mensuales, en el verano de 29.7°C y en el invierno de 17.9°C., presentando una temperatura promedio máxima en verano de 35.5°C y promedio mínima en invierno de

12.9°C (Tabla 3.1). Se presentan las temperaturas mínimas a lo largo del año alrededor de las 6 a.m. y las máximas a la 1 p.m.. Las oscilaciones de temperatura van desde 10°C en invierno hasta 36°C en julio (Tabla 3.2).

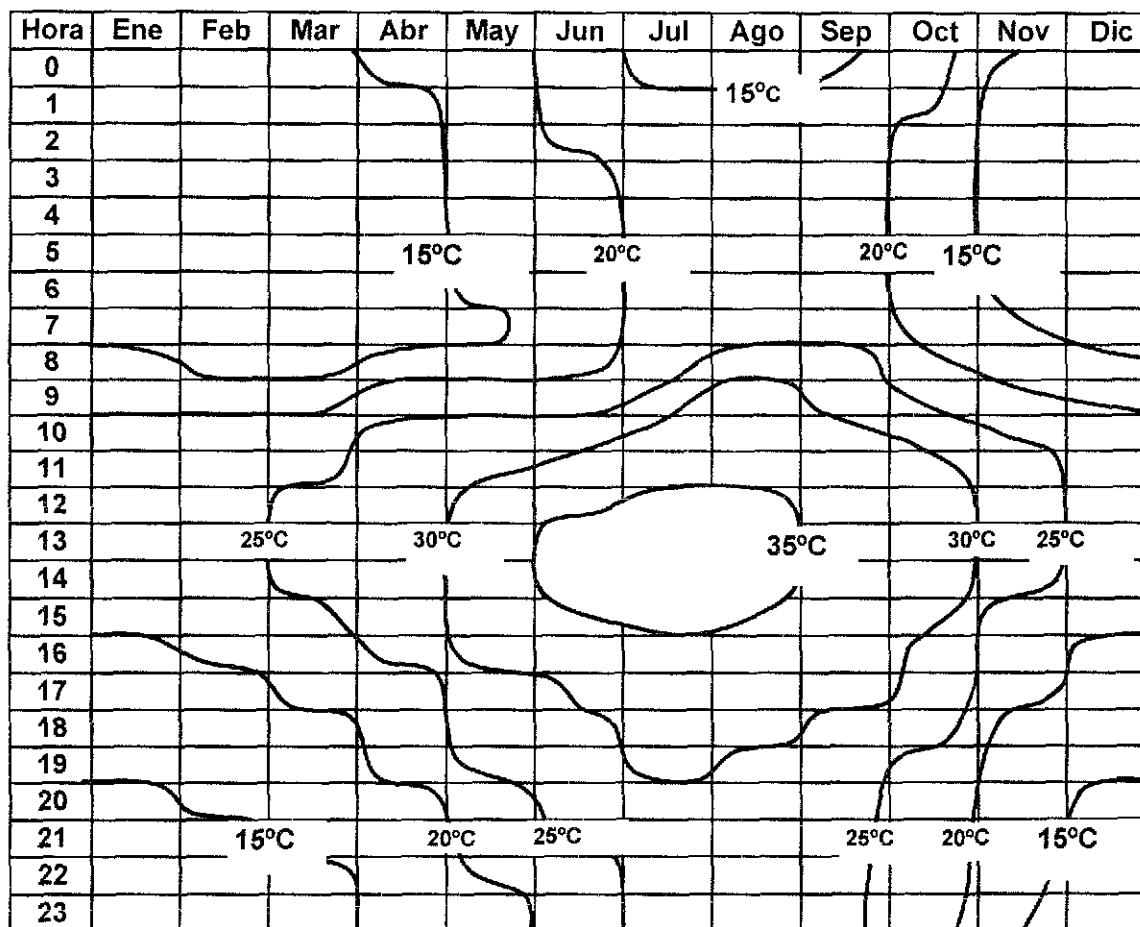
	Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
Hora	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
0 a.m.	14	16	19	22	26	26	25	21	15	12	12	12
1	13	15	18	22	25	25	25	21	15	12	12	12
2	13	15	18	21	25	25	24	20	15	12	11	11
3	12	14	17	20	24	24	24	20	15	11	11	11
4	12	14	16	20	24	24	24	20	14	11	11	11
5	12	14	16	19	23	24	23	20	14	11	11	11
6	11	13	16	19	23	23	22	19	14	11	11	10
7	12	14	14	18	22	25	24	20	17	14	14	11
8	15	19	17	20	24	28	27	22	20	17	17	13
9	19	23	21	24	27	31	30	25	24	20	20	17
10	23	26	26	29	31	34	32	28	26	23	22	21
11	25	28	29	32	34	35	34	31	27	24	23	23
12 p.m.	27	29	31	34	36	36	35	32	28	24	23	25
1	27	29	33	36	36	36	35	32	27	24	23	25
2	26	29	33	36	36	36	34	32	26	23	22	24
3	25	28	32	35	36	35	33	31	25	21	21	23
4	24	26	31	34	35	34	32	30	23	20	19	22
5	22	25	29	32	34	32	31	28	22	19	18	20
6	20	23	27	30	32	31	30	27	20	17	17	19
7	19	22	26	29	31	30	29	25	19	16	16	17
8	18	20	24	27	30	29	28	24	18	15	15	16
9	16	19	23	26	29	28	27	23	17	14	14	15
10	15	18	21	25	28	27	26	22	17	13	13	14
11	14	17	20	23	27	26	26	22	16	13	13	13

Tabla 3.2. Temperatura horaria (°C)

3.3 Isothermas

En esta gráfica se visualizan, unidas por líneas, las horas con igual temperatura a lo largo del año. Las mayores temperaturas se presentan al medio día, en los meses de junio, julio y agosto,

llegando a temperaturas mayores de 35°C. Se tienen temperaturas mínimas inferiores a los 15°C durante el invierno, sobre todo en la noche y antes del amanecer. (Gráfica 3.1)



Gráfica 3.1. Isothermas para la ciudad de La Paz, B.C.S.

3.4. Humedad relativa media

La humedad media anual es de 62% y la humedad media mensual, es de 60% en el verano y de 69% en el invierno. Se presenta en el mes de septiembre (época de lluvias), una

humedad media de 65%, variando entre una máxima de 87% y una mínima promedio de 46%, mientras que en el mes más seco (mayo) la humedad media es de 60%, con una mínima promedio de 30% y una máxima promedio de 74%. (Tabla 3.3)

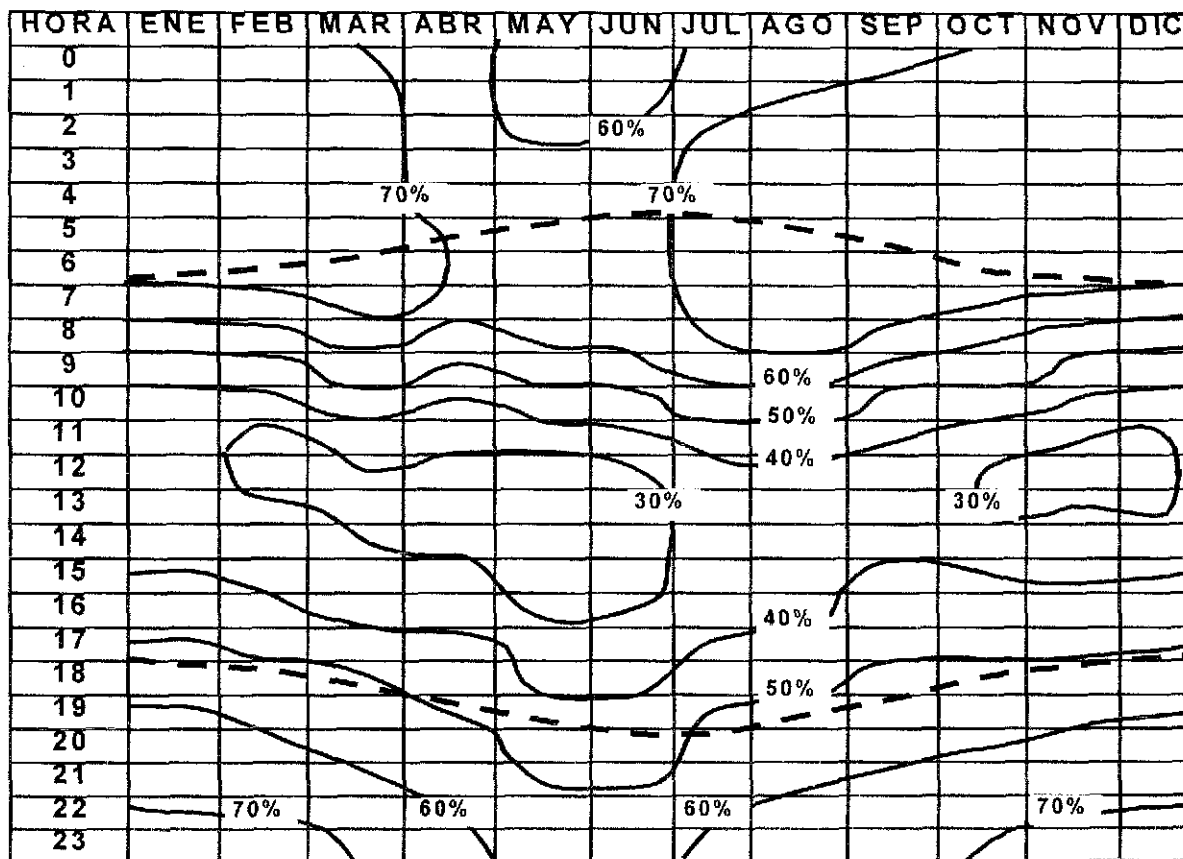
Hora	Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
0 a.m.	74	68	62	63	71	77	78	79	80	81	83	76
1	76	69	64	65	73	78	80	81	81	82	84	78
2	77	71	66	67	75	80	81	82	82	83	85	79
3	78	72	67	68	76	81	82	83	83	84	86	80
4	79	73	69	69	78	82	83	83	83	84	86	81
5	80	74	70	70	79	82	84	84	85	86	88	81
6	81	77	70	71	79	85	87	86	83	84	86	83
7	79	72	74	74	82	80	82	84	75	76	78	81
8	71	61	68	69	77	70	72	76	64	64	67	73
9	59	50	58	59	67	60	62	65	53	54	57	61
10	49	41	47	48	57	52	54	55	46	46	49	50
11	41	35	38	39	48	47	49	48	42	42	45	43
12 p.m.	36	32	32	34	43	44	46	44	41	41	44	38
1	35	32	30	31	40	44	46	43	42	42	46	37
2	37	34	30	31	40	46	48	44	46	46	49	39
3	41	37	31	33	42	49	51	48	50	50	53	42
4	45	41	34	36	45	52	54	52	55	55	58	47
5	50	45	38	39	48	56	58	56	59	60	62	52
6	55	49	42	43	52	60	62	61	64	64	67	57
7	59	53	46	47	56	63	65	65	68	68	71	61
8	63	57	50	51	60	67	68	69	71	72	74	65
9	67	60	54	55	63	70	71	72	74	75	77	69
10	70	63	57	58	66	72	74	75	76	77	79	72
11	72	65	60	61	69	75	76	77	78	79	81	74

Tabla 3.3. Humedad horaria (%)

3.5. Isohigras

Se muestran, unidas por líneas, las zonas que presentan los mismos porcentajes de humedad en las diferentes horas y meses del año. Se aprecia que las horas del medio día, de los meses de

febrero a junio, son las que tienen la menor humedad, con un 30% o menos, mientras que la mayor humedad, 70%, se presenta en las últimas horas de la noche y en las primeras horas de la mañana (gráfica 3.2)



Gráfica 3.2 Isohigras para la ciudad de La Paz, B.C.S

3.6. Viento

Es necesario conocer el comportamiento del viento a lo largo del año, tanto su dirección como su frecuencia e intensidad, para poder decidir sobre la orientación apropiada de los espacios que requieran ventilación, así como para determinar los sistemas

adecuados para su captación o protección. Se observa que los vientos predominantes en verano provienen principalmente del suroeste, con velocidades que varían de 3 a 3.5 m/s; y que los vientos de invierno proceden de las orientaciones norte y noreste, con velocidades entre 3.9 y 4.6 m/s. (tabla 3.4 y figura 3.2)

Parámetro	Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Dirección	N	N	SO	SO	SO	SO	NO	N	NE	NE	NE	N
Frecuencia	25.4	24	26.3	37.4	28.9	25.9	28.4	22.1	31.8	48.3	36.6	32.8
Fuerza	3.1	3.9	3.8	3.5	3	3	2.9	2.9	3.9	4	4.6	4.3

Tabla 3.4. Variación estacional de la dirección, frecuencia y fuerza del viento²⁷

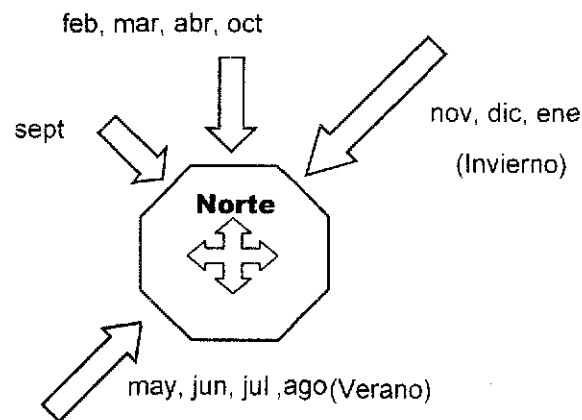


Fig. 3.2. Dirección del viento por época del año

²⁷ Obtenido de Sria de Recursos Hidráulicos (1976) Atlas del agua de la República Mexicana

3.7. Radiación solar

Los valores de radiación fueron tomados en cal/cm^2 en la estación meteorológica de La Paz, B.C.S., y convertidos a W/m^2 para nuestro estudio. La radiación varía de un total mensual mínimo de 3.97 KW/m^2 , en el mes de diciembre, a un máximo de 6.54 KW/m^2 , en el mes de abril. La mayor radiación se recibe entre las 11:00 a.m. y 12:00 p.m., siendo máxima en los meses de abril y mayo, alcanzando en abril un valor máximo de 846 W/m^2 al medio día.

La menor radiación se recibe a las 6 a.m. y 6 p.m., siendo mínima durante el invierno, en donde a las 6 a.m. no se recibe radiación 0 W/m^2 (Tabla 3.5)

Mes\ Hora	6 am	7	8	9	10	11	12 pm	1	2	3	4	5	6	KW/m2 día
Enero	0	129	236	458	602	665	679	620	524	369	155	15	0	4.45
Febrero	18	166	380	543	661	735	753	691	554	462	314	96	0	5.37
Marzo	59	218	410	528	654	728	772	720	620	502	336	151	30	5.73
Abril	63	236	506	650	753	801	846	794	702	558	388	203	44	6.54
Mayo	151	351	558	609	716	801	805	679	583	473	281	192	44	6.24
Junio	118	266	454	572	702	757	768	731	650	539	380	222	52	6.21
Julio	144	399	491	631	720	761	746	676	528	462	340	192	48	6.14
Agosto	133	362	524	628	687	702	705	646	443	377	273	96	7	5.58
Septiembre	133	321	495	591	665	702	683	554	484	343	188	44	4	5.21
Octubre	85	277	480	598	672	702	665	591	535	321	170	33	0	5.13
Noviembre	0	144	314	487	587	643	650	598	535	358	185	55	0	4.56
Diciembre	0	81	270	432	510	591	595	547	432	310	151	48	7	3.97

Tabla 3.5. Radiación horaria en W/m^2 día

3.8. Estudio del bioclima

Los elementos analizados (temperatura, humedad, viento, radiación) influyen en el confort del cuerpo del humano, el cual requiere mantener una temperatura interna entre los 36,5 °C y 37,5 °C para tener un funcionamiento adecuado. Es necesario tomar en cuenta la fisiología humana, sus condiciones de confort y la información climática, con la finalidad de obtener las características que debe satisfacer la envolvente arquitectónica para ofrecer dicho confort térmico

Para conocer la zona de confort es necesario, primeramente, encontrar el Termopreferendum¹⁷ o temperatura de confort (Tp) para cada mes. Estudios hechos por Humphreys (1978) y Aliciems (1981) mencionan que el Termopreferendum varía de lugar en lugar y de estación a estación. Para calcular dicho Termopreferendum, anual o mensualmente, se aplica la fórmula propuesta por Szokolay,¹⁸ que determina el centro de la zona de confort para cada mes, en función de la Temperatura media ambiente (Tamb):

$$T_p = 17.6 + (0.31 * T_{amb})$$

¹⁷ Temperatura a la que los sistemas de autorregulación del cuerpo humano no requieren hacer un mayor esfuerzo para encontrarse en confort. Las zonas de confort dependen de la latitud del lugar, además de la aclimatación. En este caso se tomará la propuesta por Szokolay

¹⁸ Szokolay, S V (1980) Environmental science handbook Lancaster England The Construction Press

Según el mismo Szokolay, este Termopreferendum acepta un umbral de confort de 2.5 °C por arriba de Tp, para encontrar el límite superior de la zona de confort, y de 2.5°C por debajo de Tp, para encontrar el límite inferior de dicha zona de confort, es decir, el rango de la zona de confort es de 5°C. Las temperaturas ambiente por arriba de ese umbral indican períodos sobrecalentados y las temperaturas por debajo, indican períodos fríos

Por ejemplo, para conocer la zona de confort para el mes de enero en la localidad estudiada, en donde la T amb es 17.9 °C,¹⁹ se sustituye este valor en la fórmula anterior:

$$T_p = 17.6 + (0.31 * 17.9)$$

$$T_p = 23.2^{\circ}\text{C}$$

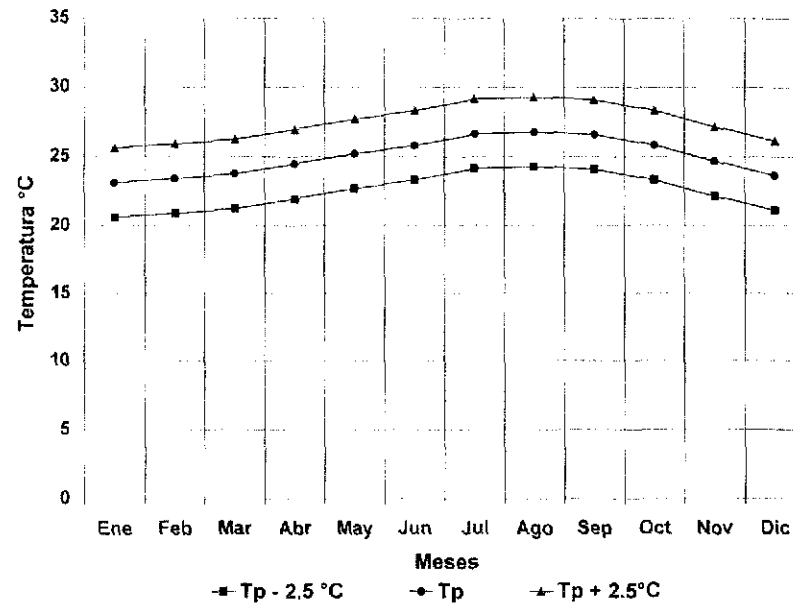
¹⁹ Dato de la temperatura media, obtenido de las normales climatológicas para ese mes.

Meses	Termopreferendum	Zona de Confort		
		+2.5°	TP	-2.5°
Enero	TP= 17.6+0.31(17.9)= 23.15	25.65	23.15	20.65
Febrero	TP= 17.6+0.31(18.8)= 23.43	25.93	23.43	20.93
Marzo	TP= 17.6+0.31(19.9)= 23.77	26.27	23.77	21.27
Abril	TP= 17.6+0.31(22.2)= 24.48	26.98	24.48	21.98
Mayo	TP= 17.6+0.31(24.6)= 25.23	27.73	25.23	22.73
Junio	TP= 17.6+0.31(26.5)= 25.82	28.32	25.82	23.32
Julio	TP= 17.6+0.31(29.2)= 26.65	29.15	26.65	24.15
Agosto	TP= 17.6+0.31(29.7)= 26.81	29.31	26.81	24.31
Septiembre	TP= 17.6+0.31(29.1)= 26.62	29.12	26.62	24.12
Octubre	TP= 17.6+0.31(26.6)= 25.85	28.35	25.85	23.35
Noviembre	TP= 17.6+0.31(22.9)= 24.70	27.2	24.7	22.2
Diciembre	TP= 17.6+0.31(19.5)= 23.65	26.15	23.65	21.15

Tabla 3.6. Termopreferendum y zona de confort para cada mes en La Paz, B.C.S.

A este valor de Tp se le suman 2.5°C para encontrar el límite superior de la zona de confort y se le restan 2.5°C para obtener el límite inferior de dicha zona, obteniendo que ésta va de 20.65°C

a 25.65°C. Los resultados calculados similarmente para los otros meses se muestran en la tabla 3.6 y gráfica 3.3



Gráfica 3.3 Zonas de confort a lo largo del año

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En el diagrama bioclimático de Olgay se indica el centro de la zona de confort, dado por la intersección de la línea que representa Tp para cada mes (temperatura en °C) y la línea que representa el 50% de humedad relativa. Se vacían en dicho diagrama los datos de temperatura y humedad horarios del mes correspondiente (Tablas 3.2 y 3.3).

En el caso de que los datos relacionados de temperatura y humedad no queden dentro de la zona de confort, la gráfica

indica el requerimiento o mecanismo a seguir para regresar a la zona de confort

En la gráfica de Olgay para el mes de agosto (con Termopreferendum de 26.8°C) se observa que, de acuerdo a las temperaturas horarias, la zona de confort se presenta entre las 11 p.m. y las 2 a.m., así como a las 7 a.m., mientras que desde las 3 a.m. hasta las 6 a.m. se presenta frío (puntos por debajo de la zona de confort).

A partir de las 8 a.m. y hasta las 10 p.m. se presentan condiciones de calor, siendo las horas más calientes entre las 11 a.m. y las 3 p.m.. Durante estas horas, el requerimiento es de por lo menos 2.5 m/s de ventilación para volver a la zona de confort térmico.

Para el mes de enero el Termopreferendum es de 23.2°C . En este mes, se presentan temperaturas de confort desde las 9 a.m. hasta las 3 p.m., mientras que las horas de frío van desde las 4 p.m. hasta las 8 a.m. (desde la tarde hasta el amanecer del día siguiente), como se aprecia en las figuras 3.4 y 3.5.

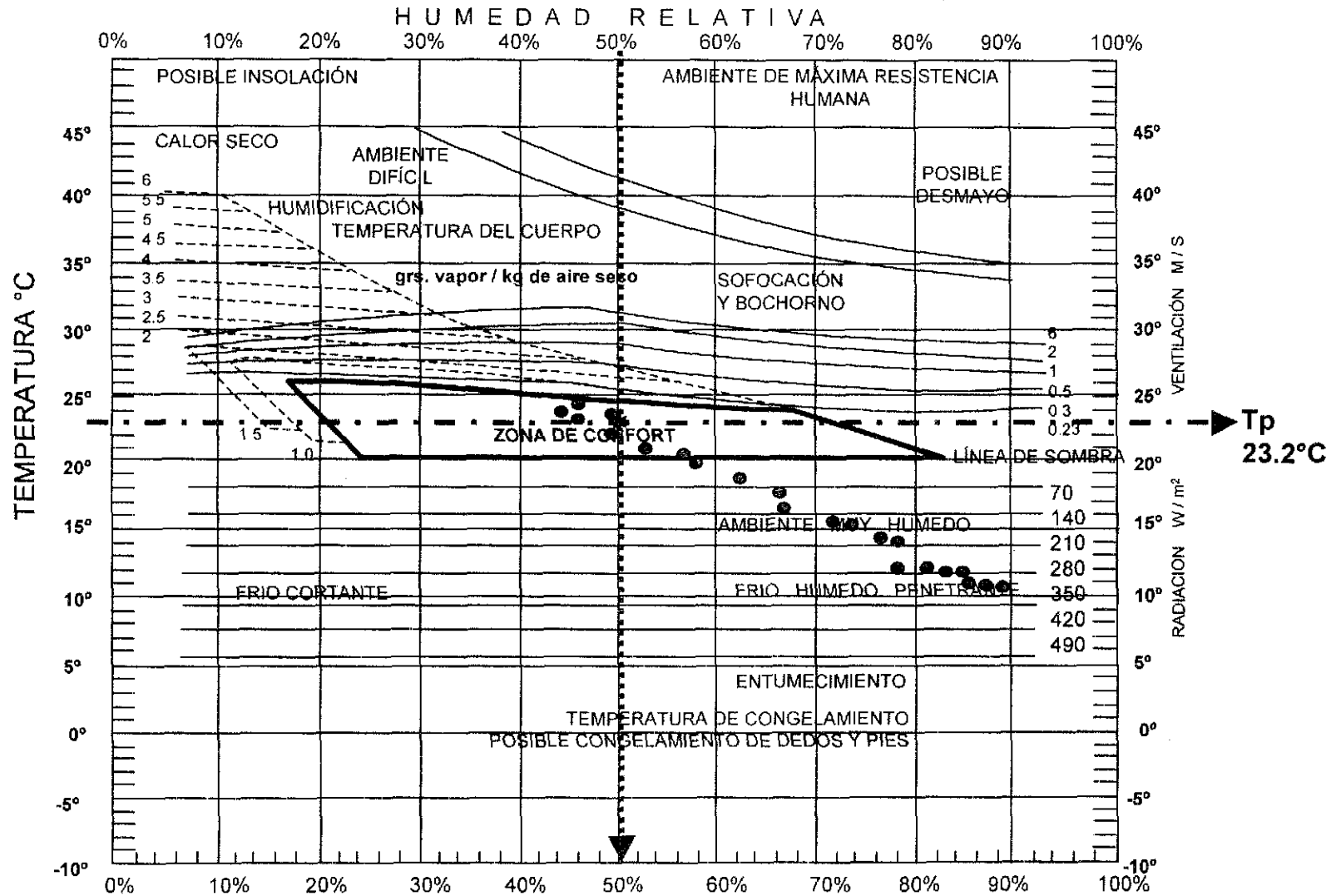


Fig 3 4 Diagrama bioclimático de Olgay, modificado por Arens y adaptado para La Paz, para el mes de enero

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

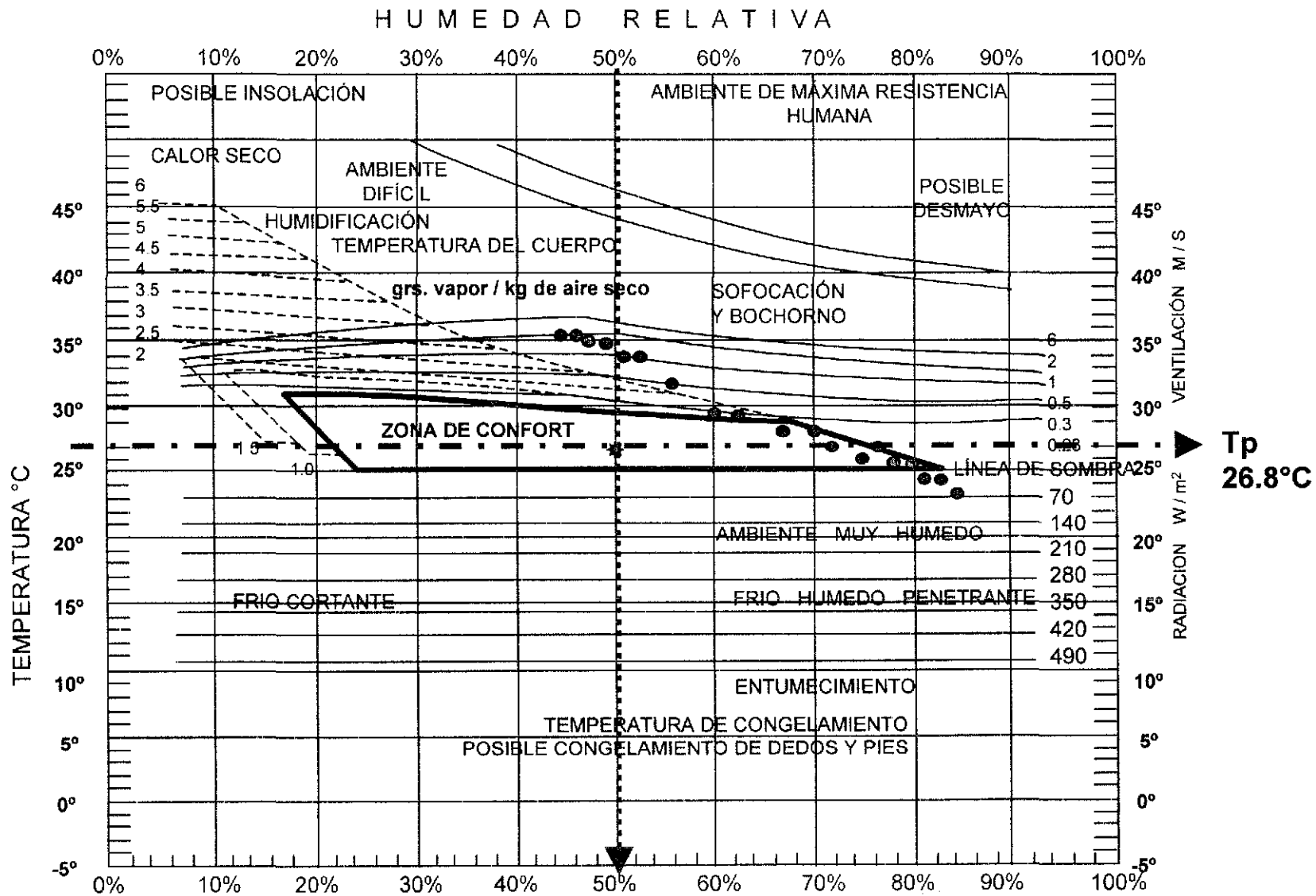


Fig. 3 5. Diagrama bioclimático de Olgyay, modificado por Arens y adaptada para La Paz, para el mes de agosto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por lo que respecta a la envolvente arquitectónica, en el diagrama psicrométrico de Givoni se tiene, para el mes de enero, el Termopreferendum de 23.2°C, y se tiene que de las 9 a.m a las 4 p.m se presenta el confort, mientras que el resto de las

horas, es decir, de las 5 p.m. a las 8 a.m. del día siguiente se tienen horas de frío (fig 3.6)

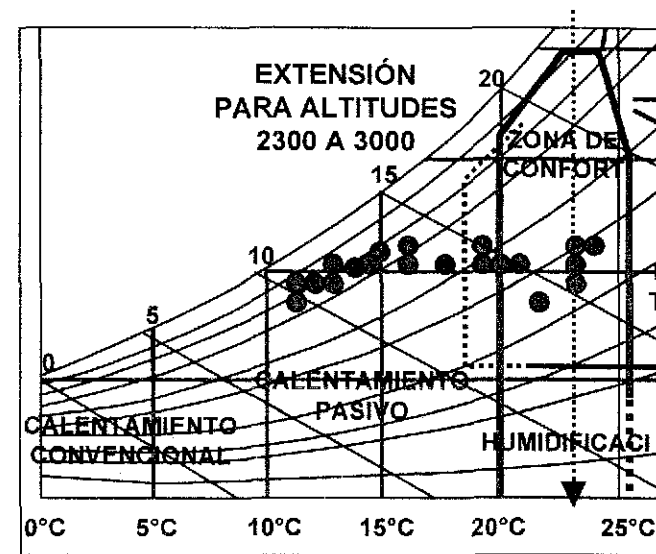
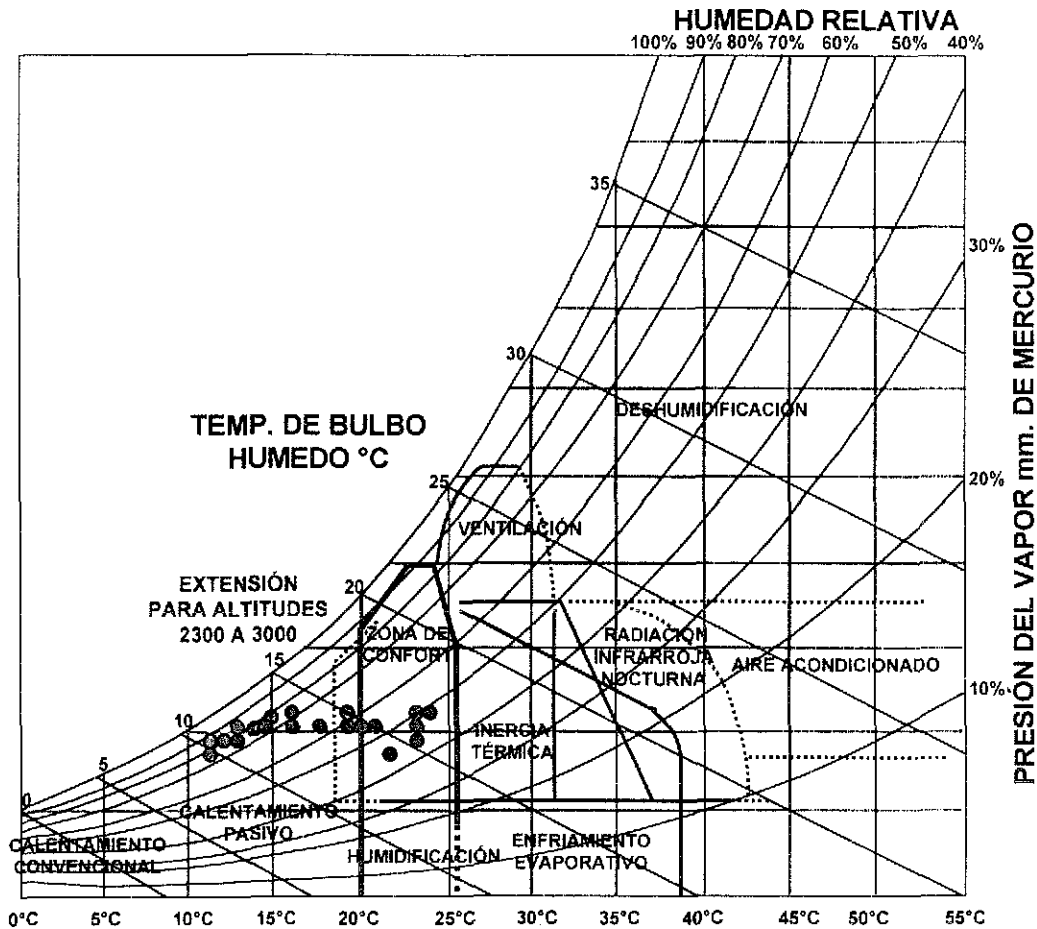
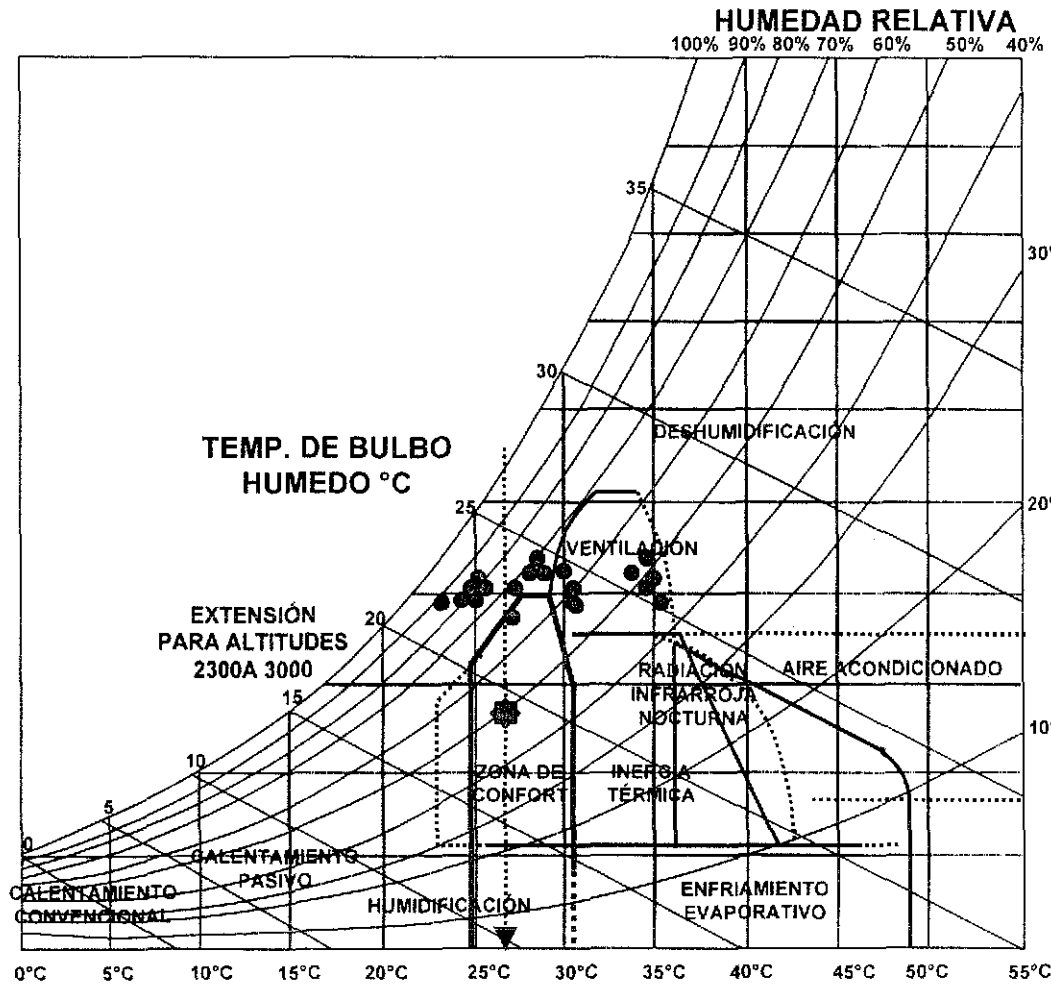


Fig 3.6. Diagrama psicrométrico de Givoni, modificado y adaptado para La Paz, para el mes de enero.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la siguiente figura, se muestran los datos para el mes de agosto, en donde es posible apreciar que prácticamente no se tienen horas dentro de la zona de confort, por lo que la mayoría

de las horas requieren de enfriamiento por diversos medios (Fig. 3.7).



PRESIÓN DEL VAPOR mm. DE MERCURIO

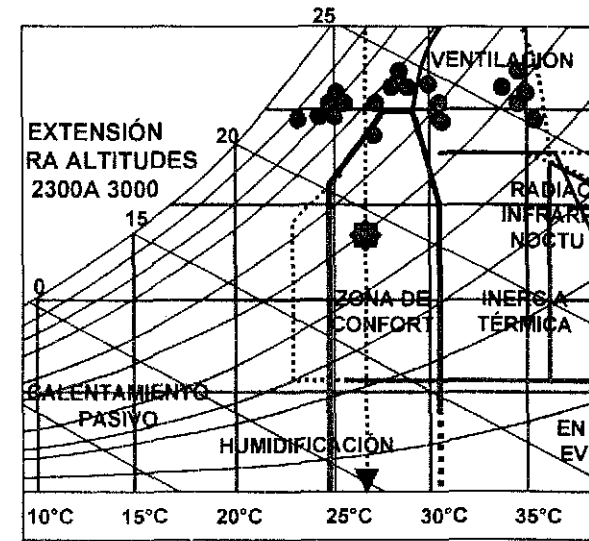


Fig 3.7. Diagrama psicrométrico de Givoni, modificado y adaptado para La Paz, para el mes de agosto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una vez elaboradas las gráficas de Olgay y Givoni para cada uno de los meses del año, se concentran en un diagrama llamado "Diagrama de isorrequerimientos" (fig. 3.8), en el cual se vacían, mes por mes, los resultados obtenidos en dichas gráficas. En este diagrama se observan las condiciones de confort, así como

los periodos de frío y calor durante las 24 horas del día, en cada uno de los meses del año. Sin embargo, para el control solar, se hará el análisis en las horas en que se presenta la radiación (día), es decir, entre las 6 a.m. y 6 p.m.

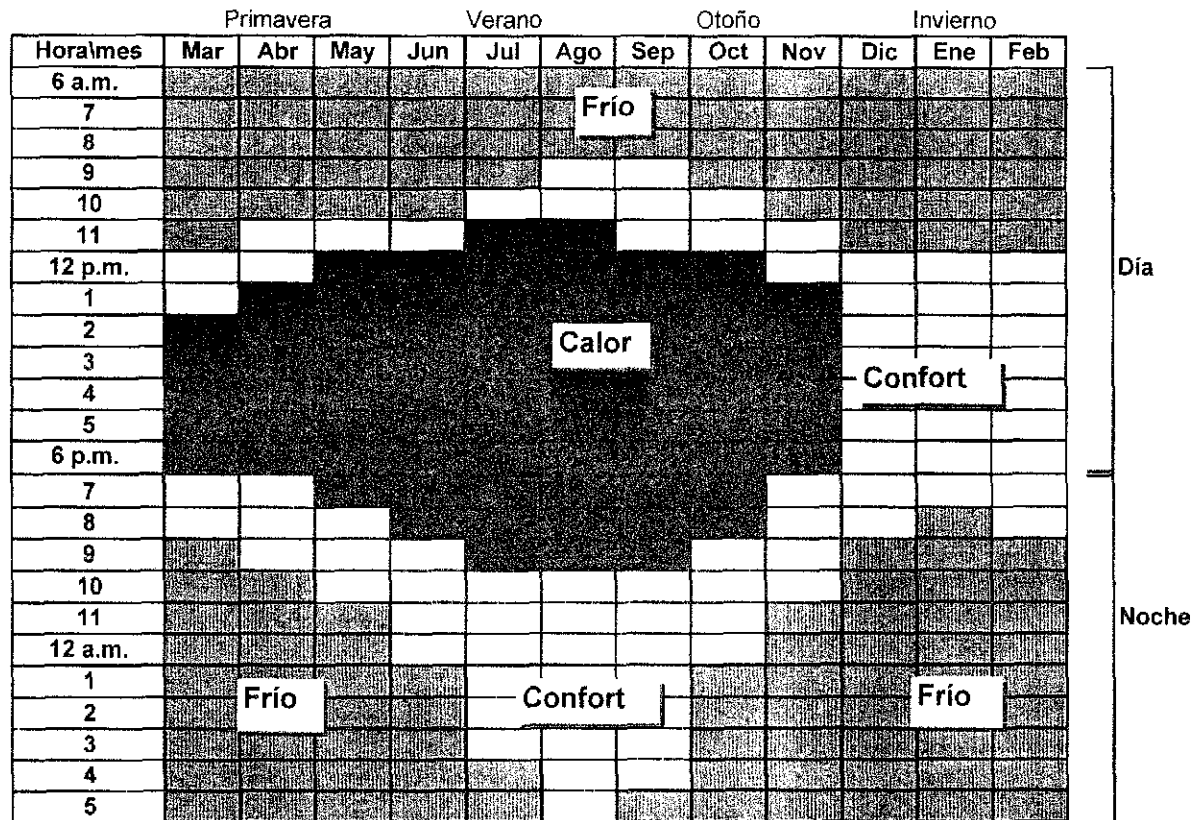


Fig 3.8. Diagrama de isorrequerimientos para La Paz, B.C.S.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A partir del diagrama de isorrequerimientos se puede determinar lo siguiente:

El control solar se requerirá cuando se presenten condiciones de confort y en periodos cálidos (cuando está presente la radiación) y en los periodos fríos debe permitirse la captación durante el día, en cada época del año, como se describe a continuación:

Invierno: Existe confort desde el medio día hasta las últimas horas de la tarde, por lo que debe tenerse control solar.

Primavera: Se tienen horas de calor, entre las del medio día y las primeras de la tarde. En las horas antes del medio día y las últimas de la tarde se presenta el confort térmico.

Verano: En ésta época se presenta una gran parte del día con calor, desde antes del medio día hasta las últimas horas de la noche. Son pocas las horas de confort, y se presentan cuando el sol deja de estar en la bóveda celeste.

Otoño: Es similar al anterior, pero presenta mayor número de horas de confort, entre las últimas horas de la noche y las primeras de la madrugada.

De acuerdo al análisis de los factores climáticos y a los requerimientos de climatización obtenidos, se concluye que la mayor necesidad del control solar se presenta en la temporada

de transición y en la cálida seca, mientras que en los meses invernales debe permitirse la captación solar en las horas de la mañana, antes del medio día. Sin embargo, en dicha época se requiere de protección solar en las horas posteriores al medio día.

3.9. Estrategias de climatización

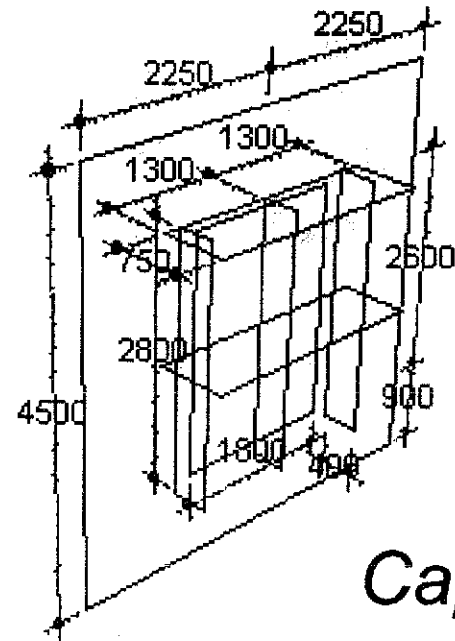
Para cada temporada se aplicarán estrategias particulares, las cuales se enlistan a continuación

- **Temporada fría:**
 - Amortiguar en el interior las diferencias térmicas exteriores (retardo térmico)
 - Propiciar ganancia de calor por la radiación directa del sur
- **Temporada de transición:**
 - Propiciar almacenamiento de calor en la estructura
 - Proteger del soleamiento directo del suroeste, oeste y noroeste
 - Optimizar la ventilación natural entre las 10 a.m. y 6 p.m.
- **Temporada cálida seca:**
 - Proteger del soleamiento directo del suroeste, oeste y noroeste
 - Optimizar la ventilación natural del sur y suroeste

- Amortiguar en el interior las diferencias térmicas exteriores entre el día y la noche; deberá tenerse considerable retardo térmico en muros y cubiertas.
- Propiciar el enfriamiento nocturno de la estructura por radiación a la atmósfera

Una vez que se tiene esta información, se cuenta con las herramientas necesarias para realizar el diseño del control solar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Capítulo 4

Diseño del control solar

Diseño del control solar

Una vez que los requerimientos de climatización han quedado definidos (capítulo 3), se puede proceder a diseñar los elementos del control solar que satisfagan esos requerimientos. En éste capítulo presentamos la metodología para el diseño de aleros y partesoles, aplicada al caso específico de La Paz, B.C.S.

Los elementos de control solar (aleros y partesoles) obstruyen la componente directa de la radiación solar. La dimensión de cada uno de ellos se obtiene a partir de la determinación de sus ángulos óptimos de protección y de las dimensiones de las áreas transparentes.

El método de diseño aplicado es el propuesto por Gómez y Morillón, adaptado para el presente trabajo y complementado con la parte del diseño óptimo de partesoles.

4.1. Metodología²⁰

Para realizar el diseño de los elementos de control solar se requiere de los siguientes datos y herramientas, obtenidos en capítulos anteriores:

- Datos horarios de temperatura ambiente, de un día por cada mes.
- Temperatura de confort o Termopreferendum para cada mes.
- Dos gráficas solares, una para cada semestre.
- Diagrama de isorequerimientos de climatización.
- Mascarillas de sombreado para sobreponerse a las gráficas solares (elaboradas sobre superficie transparente y a la misma escala que la gráfica solar). Estas mascarillas representan la obstrucción a la radiación solar producida por los aleros (perfil de sombra segmentado) y por los partesoles (perfil de sombra radial), a cada 10° como mínimo (Fig. 4.1).

²⁰ Método propuesto por Gabriel Gómez Azpeitia y complementado en este trabajo

4.2. Diseño de aleros

Una vez que se cuenta con esta información, el procedimiento a seguir es el siguiente:

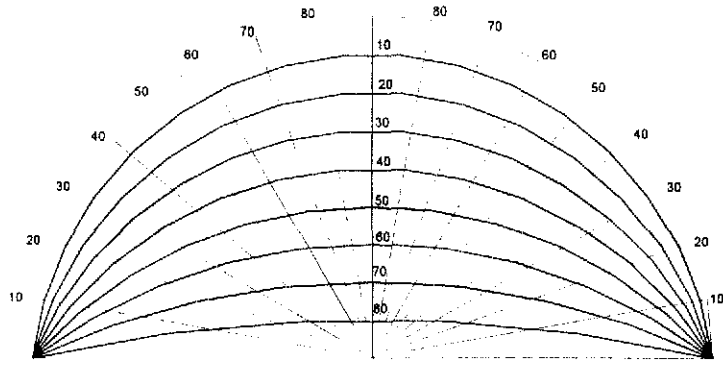


Figura 4.1. Mascarilla de sombreado²¹

Del diagrama de isorrequerimientos obtenido en el capítulo anterior, se contabiliza el número de horas totales por semestre que presentan frío, así como las que presentan confort y calor, durante el intervalo en que el sol se encuentra en la bóveda celeste, es decir, entre las 6 y las 18 horas (figs 4.2 y 4.3), para cada uno de los meses.

En las horas en que se tiene frío se deberá permitir el paso de la radiación, mientras que en las horas que se presentan condiciones tanto de calor como de confort deberá buscarse la protección solar. Conviene hacer notar que durante las horas de confort también ha

de buscarse la protección de la radiación, pues si se permitiera el paso de ésta, se incrementaría la temperatura y entonces esas horas quedarían fuera de la zona de confort

Hora\Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
6						
7						
8		Frío				
9						
10						
11						
12						
13						
14	Confort			Calor		
15						
16						
17						
18						

Figura 4.2 Semestre enero-junio.

Hora\Mes	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
6						
7					Frío	
8						
9						
10			Confort			
11						
12						
13		Calor				
14						
15						
16						
17						
18						

Figura 4.3 Semestre julio-diciembre.

²¹ Basada en Gómez Azpeitia, Las líneas en segmento curvo representan los aleros y las líneas radiales, los ángulos de protección de los partesoles.

Para obtener el número de horas con frío por mes, se multiplica el número de horas de frío en el día por el número de días del mes, por ejemplo: el mes de enero presenta seis horas de frío (de las 6:00 a.m. a las 11:00 a.m.), multiplicando 6 por los 31 días del mes se obtienen 186 horas de frío. De la misma forma se obtienen las horas en las que se tiene calor y confort: Siete horas (de las 12 p.m. a las 6 p.m.) por 31 días, dan 217 horas. Esto se hace para cada mes.

Una vez obtenidas las horas por mes que requieren soleamiento o aprovechamiento solar (T1) y las que requieren protección solar o sombra (T2), se suman las horas totales de T1 y T2 para cada semestre (tablas 4.1 y tabla 4.2).

	ene	feb	mar	abr	may	jun	total horas
T1	186	168	186	150	155	150	995
T2	217	196	217	240	248	240	1358

Tabla 4.1. Número de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre ene-jun

La información semestral de T1 y T2 se transfiere a la gráfica solar, sombreando las horas que requieren protección solar según el diagrama de isorrequerimientos por semestre (figs 4.4 y 4.5).

	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total horas
T1	124	93	90	124	150	186	767
T2	279	310	300	279	240	217	1625

Tabla 4.2. Número de horas que requieren ganancia (T1) o protección solar (T2), semestre jul-dic

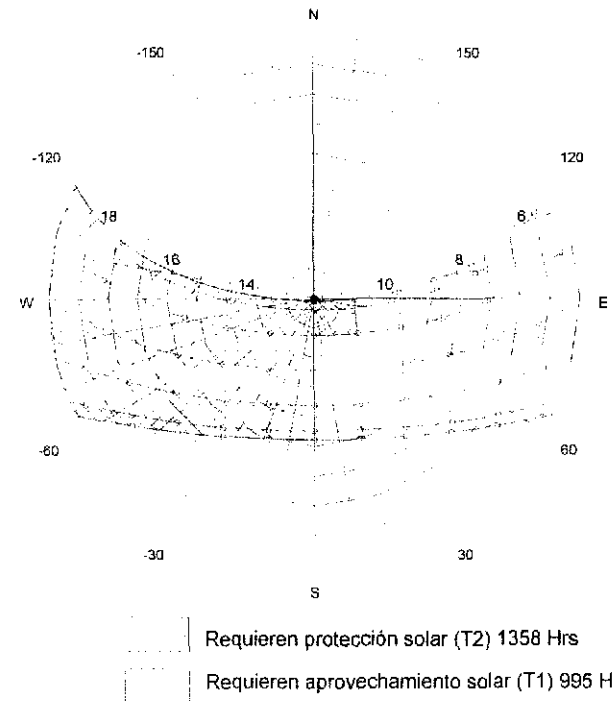


Fig 4.4 Gráfica solar para el semestre enero-junio.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

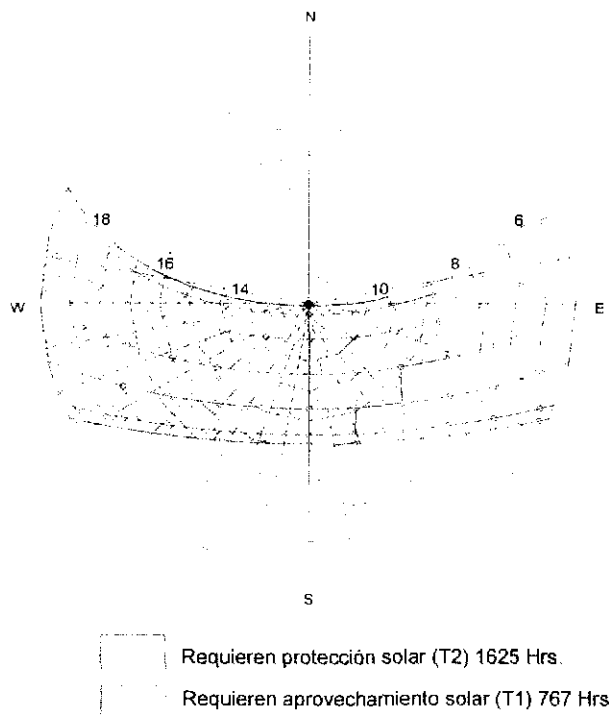


Fig. 4.5 Gráfica solar para el semestre julio-diciembre.

Una vez que se vacía la información a las gráficas solares, se empieza por analizar la eficiencia de los elementos de control solar, empleando la mascarilla de sombreado, como se ilustra para el semestre enero-junio a continuación.

Se sobrepone la mascarilla (de material transparente) que representa a un alero con protección desde los 0°, sobre la gráfica solar, para alguna orientación, a cada 10° (fig. 4.6). En este ejemplo usaremos la orientación sur. Esta mascarilla ocultará parte de las rutas solares, por lo que se podrá cuantificar cuántas horas de las que requieren sombra (T2) quedan, sin embargo, fuera de la protección del alero (K) y cuántas de las que requieren soleamiento (T1) si quedan fuera de la protección del alero (L) (figura 4.6) ejemplificado en la gráfica de 70°.

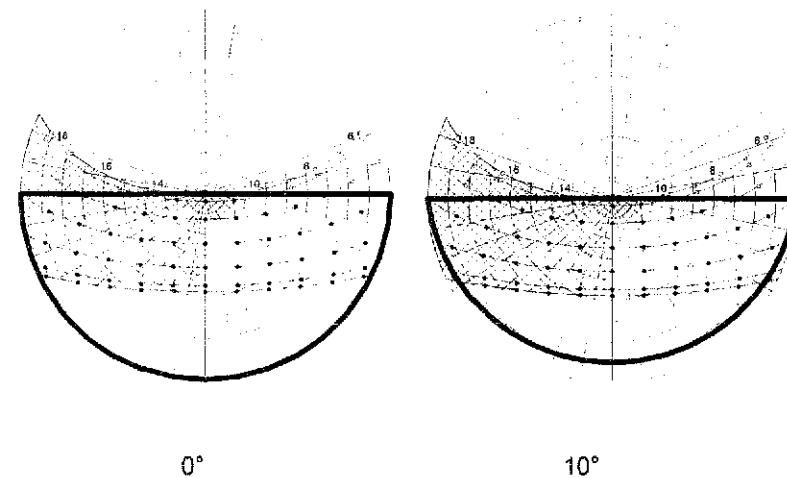
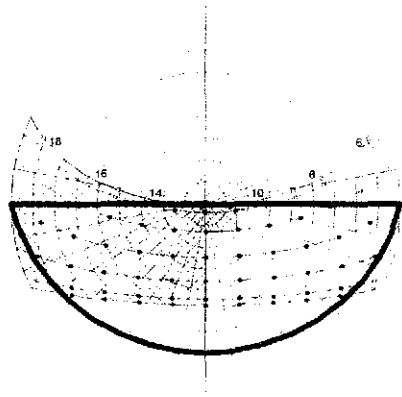
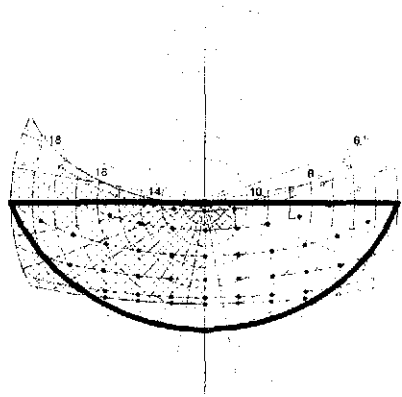


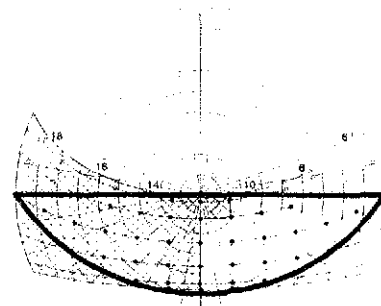
Fig. 4.6. Mascarillas de sombreado sobre gráfica solar, a cada 10°, para un alero con orientación sur, semestre ene-jun.



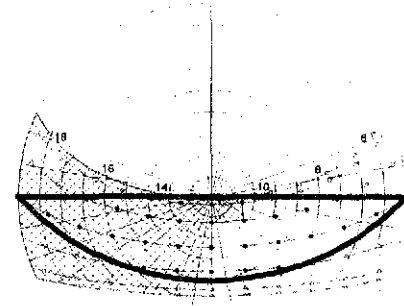
20°



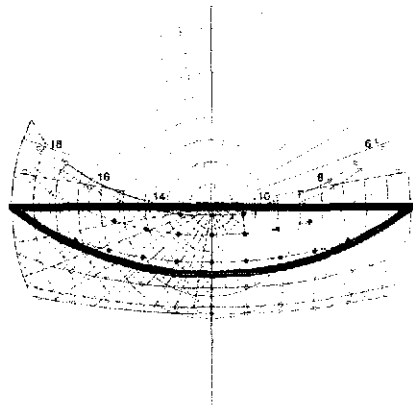
30°



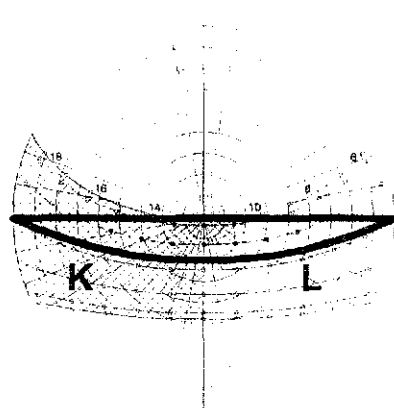
40°



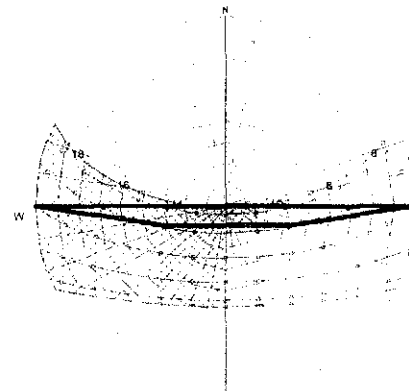
50°



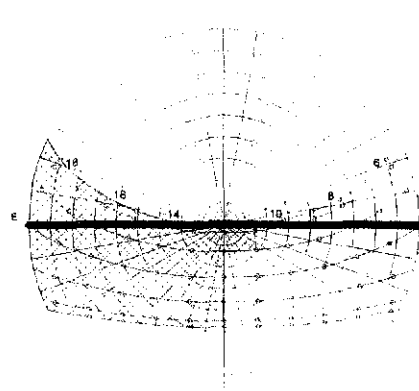
60°



70°



80°



90°

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se calcula la eficiencia del alero para el período de calor, con la siguiente fórmula: $EPC=1-(K/T2)$ y la eficiencia para el periodo de frío con: $EPF=L/T1$. Lo mismo se hace con las mascarillas de 10°, 20°, 30°, 40°, etc., (tablas 4.3 y 4.4) hasta obtener toda la información acerca de la eficiencia de los aleros con diferentes ángulos de protección, para la orientación analizada.

Por otra parte, la eficiencia global de los elementos de control durante todo el año (ED), es decir, la eficiencia ponderada, se define como:

$$ED = (T1/(T1+T2))*EPF+(T1/(T1+T2))*EPC$$

El ángulo óptimo de protección solar para cada orientación es el correspondiente al valor máximo de la eficiencia ponderada del alero (ED). Dicho ángulo corresponde al punto en que se cruzan las eficiencias para los periodos de calor (EPC) y de frío (EPF).

Este procedimiento se aplica para cada una de las orientaciones, hasta obtener la información de los ángulos óptimos de protección solar para los aleros en cada caso.

Los ángulos óptimos de protección solar, medidos a partir de la horizontal del lugar y la línea que une la parte inferior de la ventana con el extremo más sobresaliente del alero, se muestran en las tablas 4.3 y 4.4.

Fachada	Hrs. que requieren soleamiento	Hrs. que requieren sombra	Ángulo del alero (°)	Hrs. que requieren sombra y no quedan protegidas	Eficiencia periodo de calor (%)	Hrs. que requieren sol y no quedan protegidas	Eficiencia en Periodo frío (%)	Eficiencia ponderada (%)
sur	T1	T2		K	$EPC = 1-(K/T2)$	L	$EPF = L/T1$	$EPC=EPF=ED$
	995	1358	0°	0	100	0	0	42
			10°	484	64	0	0	27
			20°	515	62	31	3	28
			30°	574	58	90	9	28
			40°	605	55	121	12	29
			50°	754	44	239	24	29
			60°	838	38	357	36	31
			70°	1024	25	450	45	30
			80°	1174	14	510	51	27
			90°	1358	0	571	57	24

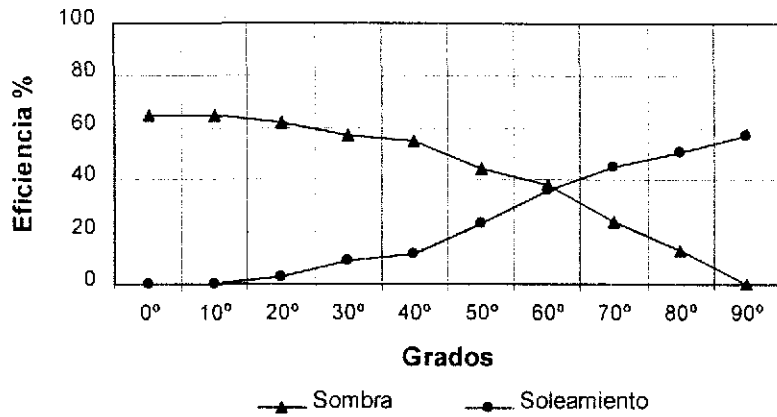
Tabla 4.3 Cálculo de la eficiencia de los aleros en la fachada sur, semestre ene-jun.

Fachada	Hrs. que requieren soleamiento	Hrs. que requieren sombra	Ángulo del alero (°)	Hrs. que requieren sombra y no quedan protegidas	Eficiencia periodo de calor (%)	Hrs. que requieren sol y no quedan protegidas	Eficiencia en Periodo frío (%)	Eficiencia ponderada (%)
sur	T1	T2		K	$EPC = 1 - (K/T2)$	L	$EPF = L/T1$	$EPC = EPF = ED$
	767	1625	0°	0	100	0	0	32
			10°	401	75	31	4	25
			20°	462	72	61	8	25
			30°	493	70	92	12	26
			40°	646	60	245	32	30
			50°	859	47	368	48	30
			60°	1045	36	368	48	27
			70°	1255	23	398	52	24
			80°	1315	19	428	56	24
			90°	1625	0	428	56	18

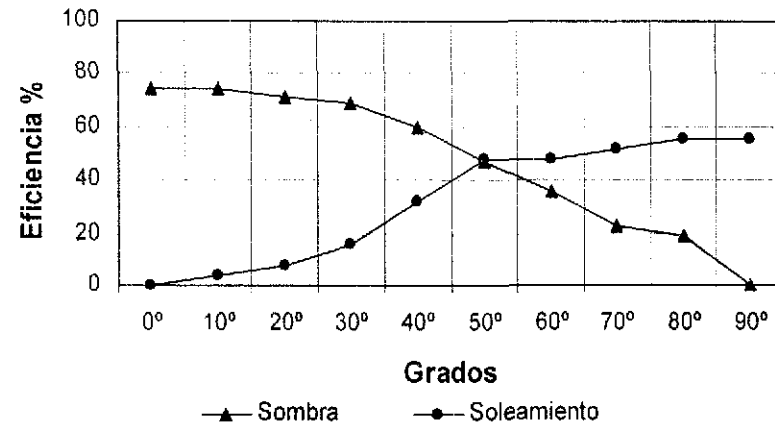
Tabla 4.4. Cálculo de la eficiencia de los aleros en la fachada sur, semestre jul-dic

Una vez obtenidos los datos de la eficiencia, se grafican para cada semestre los ángulos del alero y los valores de la eficiencia ponderada. (gráficas 4.1 y 4.2). Esta es una gráfica que contiene los ángulos del alero y los porcentajes de eficiencia, de manera que una línea indique la eficiencia en el periodo frío (que requiere soleamiento) y la otra, la eficiencia en el periodo de calor (que requiere sombreado), para cada semestre.

El ángulo óptimo de protección es aquel que, de ambos semestres, tenga el mayor porcentaje de eficiencia. En el caso aquí analizado, el ángulo óptimo para el semestre ene-jun fue de 60°, con una eficiencia de 38%, mientras que para el semestre jul-dic, el ángulo óptimo para la fachada sur es de 50°, con una eficiencia de 48%. Por consiguiente, el ángulo óptimo para dicha fachada es el de 50°, por tener la mayor eficiencia de ambos semestres.



Gráfica 4.1 Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada sur. Semestre ene-jun



Gráfica 4.2. Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada sur. Semestre jul-dic

71° , lo que quiere decir que el sol incide sólo pocas horas al año.

Una vez obtenido el ángulo óptimo para una orientación dada, se procede a obtener el ángulo óptimo para cada una de las demás orientaciones (tabla 4.5), siguiendo el mismo procedimiento descrito. Observando dicha tabla podemos concluir que: En la orientación oeste (W) no es conveniente colocar ventanas, mientras que en las orientaciones suroeste (SW) y noroeste (NW) el ángulo es muy reducido, indicando la necesidad de protegerse en las tardes durante todo el año, mientras que, en la orientación norte (N), se tiene un ángulo de

Angulo del Alero	Fachada							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	71°	50°	40°	26°	50°	10°	0°	0°

Tabla 4.5 Ángulos óptimos de los aleros, para diversas orientaciones

Una vez obtenidos los ángulos óptimos de protección solar para los aleros en cada una de las orientaciones, se procede a graficar en alzado los resultados (fig. 4.7).

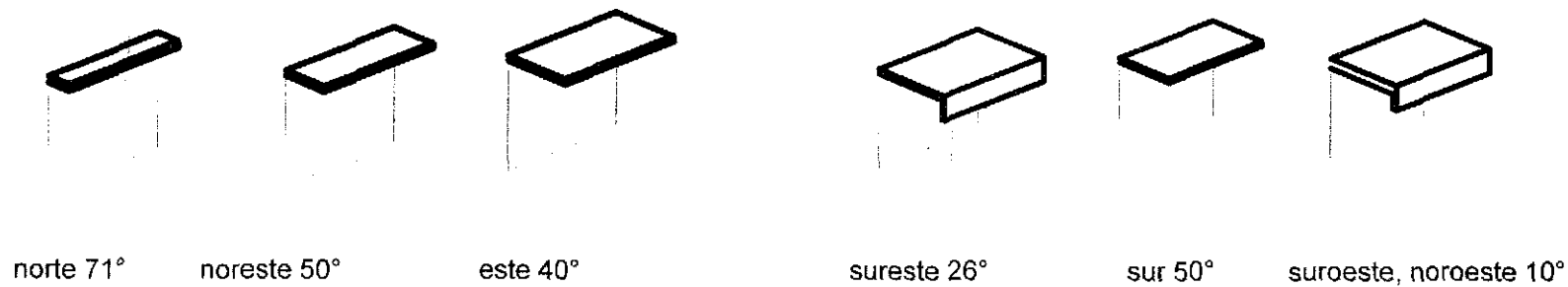


Fig. 4.7. Alzado de los ángulos óptimos del alero, para diferentes orientaciones

Hasta aquí hemos aplicado la metodología propuesta por Gabriel Gómez Azpeitia. A continuación se complementa el método con la parte para el cálculo de los ángulos óptimos de partesoles, los cuales se calcularán también para las ocho orientaciones principales.

4.3. Diseño de partesoles

Para los partesoles, la mascarilla de sombreado que se empleará será la de líneas en forma radial, a cada 10° . Se coloca la mascarilla sobre la gráfica solar en la orientación elegida (para este ejemplo de aplicación, la sur) y la cuantificación se realiza de la misma manera que para los aleros, es decir, se contabilizan las horas por semestre que requieren sol y quedan fuera de la protección del partesol, así como las que requieren de protección solar y no quedan protegidas por el partesol. El cálculo puede simplificarse cuantificando únicamente el número de horas en un día que presentan las diversas condiciones.

De la misma forma como se hizo para los aleros, se hace el cálculo para obtener los ángulos óptimos de los partesoles (tablas 4.6 y 4.7), sólo que ahora la mascarilla de sombreado para el cálculo a cada 10° será de forma radial. Se sobrepone la mascarilla (de material transparente) que representa a un partesol con protección desde los 0° , sobre la gráfica solar, para la orientación sur. Esta mascarilla ocultará parte de las rutas solares, por lo que se podrá cuantificar cuántas horas de las que requieren sombra (T2) quedan fuera de la protección del partesol (K), y cuántas de las que requieren soleamiento (T1) quedan también fuera de la protección del partesol (L) (fig. 4.8) ejemplificado en la gráfica de 20° .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

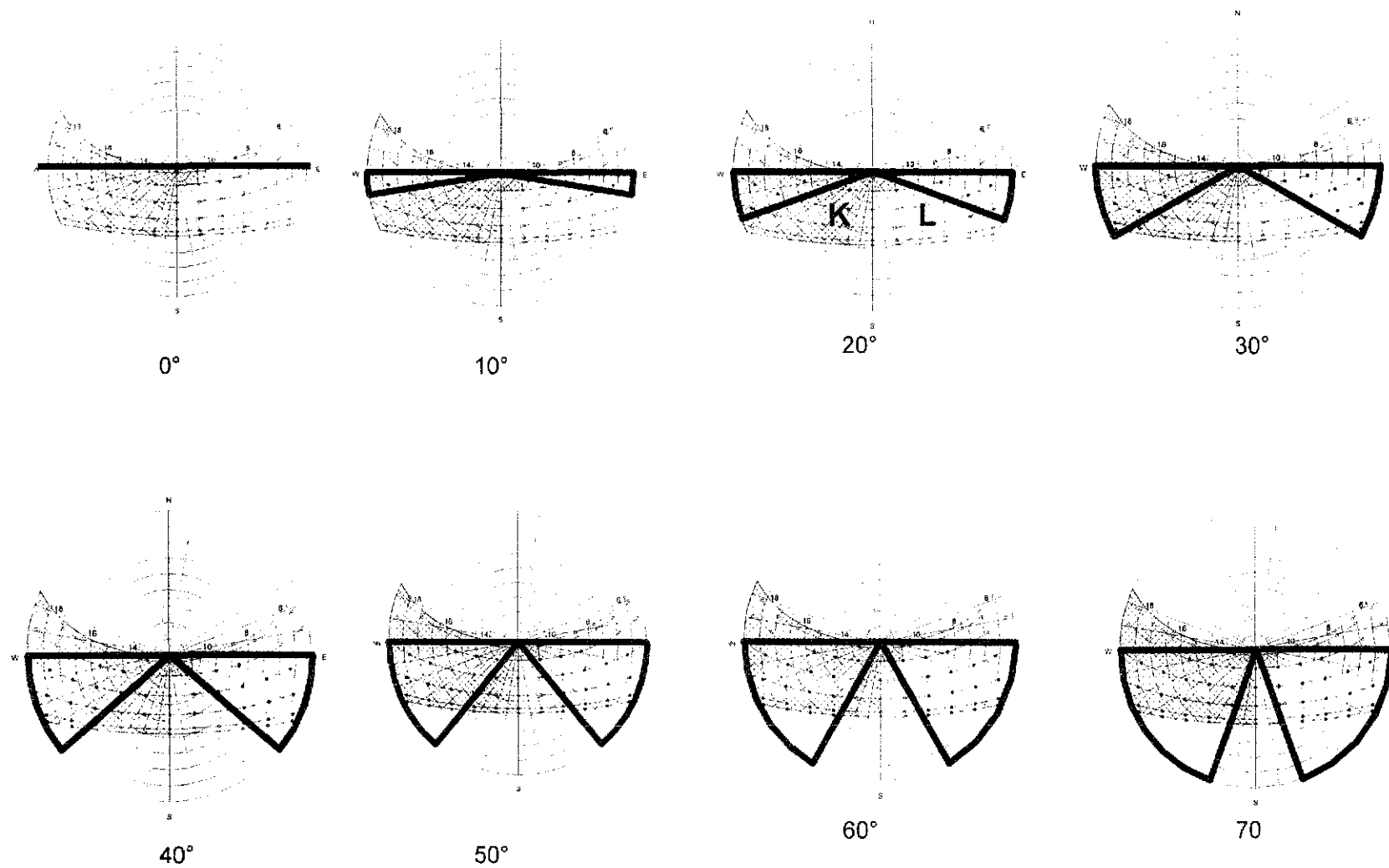
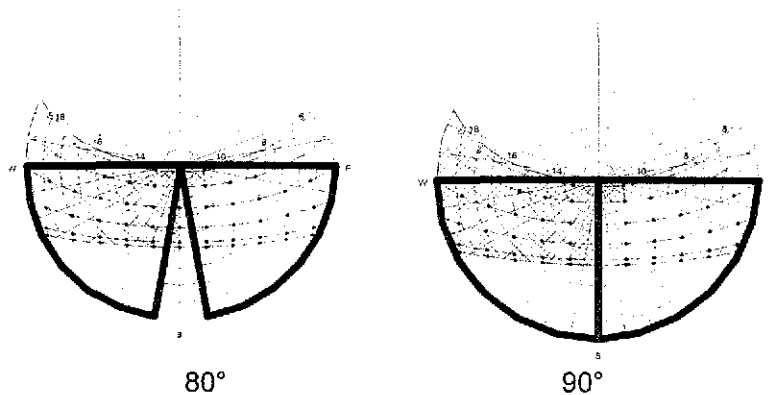


Fig 4 8 Mascarilla de sombreado para partesoles a cada 10°, para la orientación sur, semestre ene-jun.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fachada	Hrs. que requieren soleamiento	Hrs. que requieren sombra	Ángulo del partesol (°)	Hrs. que requieren sombra y no quedan protegidas	Eficiencia periodo de calor (%)	Hrs. que requieren sol y no quedan protegidas	Eficiencia en Periodo frío (%)	Eficiencia ponderada (%)
sur	T1	T2		K	$EPC = 1 - (K/T2)$	L	$EPF = L/T1$	$EPC = EPF = ED$
	23	28	0°	0	100	0	0	45
			10°	3	89	1.5	7	43
			20°	7.5	73	2.5	11	38
			30°	12.5	55	4	17	33
			40°	17.5	38	6	26	29
			50°	20.5	27	8.5	37	29
			60°	22.5	20	12	52	32
			70°	25.3	10	16.5	72	37
			80°	27.5	2	20	87	40
			90°	28	0	23	100	45

Tabla 4.6 Cálculo de la eficiencia de los partesoles en la fachada sur Semestre ene-jun

A continuación se calcula la eficiencia del partesol para el periodo de calor, con la siguiente fórmula $EPC=1-(K/T2)$ y para el periodo de frío con: $EPF=L/T1$ Lo mismo se hace con las mascarillas de 10°, 20°, 30°,40°, etc., hasta obtener toda la información acerca de la eficiencia de los partesoles con diferentes ángulos de protección, para la orientación analizada.

Por otra parte, la eficiencia global de los elementos de control durante todo el año (ED), es decir, la eficiencia ponderada, se define como:

$$ED = (T1/(T1+T2))*EPF+(T1/(T1+T2))*EPC$$



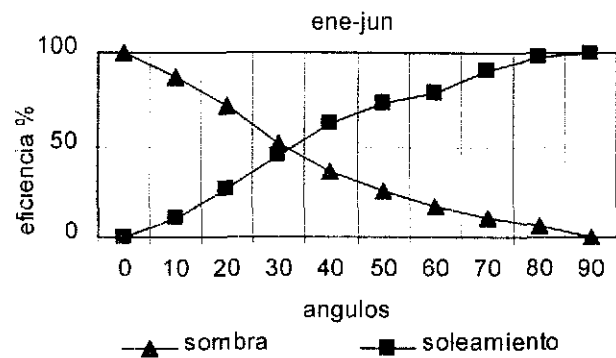
El ángulo óptimo de protección solar para cada orientación es el correspondiente al valor máximo de la eficiencia ponderada del partesol (ED) Dicho ángulo corresponde al punto en que se cruzan las eficiencias para los períodos de calor (EPC) y de frío (EPF).

Los ángulos óptimos de protección solar, medidos a partir de la vertical de la ventana y la línea que une la parte exterior del partesol con el extremo opuesto de la ventana, se muestran en las tablas 4.6 y 4.7.

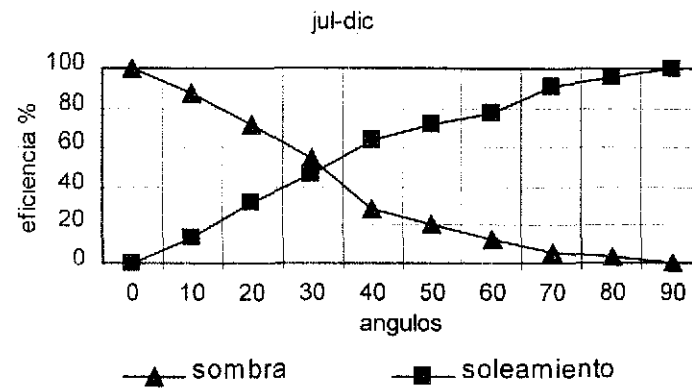
Este procedimiento se aplica para cada una de las orientaciones, hasta obtener la información de los ángulos óptimos de protección solar para los partesoles en cada caso.

Fachada	Hrs. que requieren soleamiento	Hrs. que requieren sombra	Ángulo del partesol (°)	Hrs. que requieren sombra y no quedan protegidas	Eficiencia periodo de calor (%)	Hrs. que requieren sol y no quedan protegidas	Eficiencia en Periodo frío (%)	Eficiencia ponderada (%)
sur	T1	T2		K	$EPC = 1 - (K/T2)$	L	$EPF = L/T1$	$EPC=EPF=ED$
	16	36	0°	0	100	0	0	31
			10°	5	86	0.5	3	27
			20°	11.5	68	1	6	23
			30°	17	53	2	13	20
			40°	23	36	3.2	20	17
			50°	26	28	4.5	28	17
			60°	28	22	8.8	55	24
			70°	33	8	11.5	72	25
			80°	34.4	4	14	88	28
			90°	36	0	16	100	31

Tabla 4.7 Cálculo de la eficiencia de los partesoles en la fachada sur. Semestre jul-dic



Gráfica 4.3. Eficiencia partesol fachada sur ene-jun.



Gráfica 4.4. Eficiencia partesol fachada sur jul-dic.

El ángulo óptimo de protección es aquel que, de ambos semestres, tenga el mayor porcentaje de eficiencia. En este caso, para la fachada sur es de 33°, en el semestre ene-jun (gráficas 4.3 y 4.4).

este (E) se tiene el mayor ángulo, de 64°, debido a los requerimientos de climatización y al recorrido solar.

Angulo del Partesol	Fachada							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	10°	30°	64°	50°	33°	40°	0°	0°

Tabla 4.8. Ángulos óptimos de los partesoles, en diferentes orientaciones

Una vez obtenido el ángulo óptimo para una orientación dada, se procede a obtener el ángulo óptimo para cada una de las demás orientaciones. (tabla 4.8). En dicha tabla podemos ver que debido a la radiación y a los requerimientos de climatización, en la orientación oeste (W) y noroeste (NW) no es conveniente colocar ventanas puesto que durante todo el año se requiere protegerse de la radiación, mientras que en la orientación norte (N) el ángulo es muy reducido, debido a que solo se tiene incidencia en las primeras horas del día o últimas de la tarde. En la orientación

Una vez obtenidos los ángulos óptimos de protección solar para los partesoles en cada una de las orientaciones, se procedió a graficar los resultados en alzado (fig. 4.9) y en planta fig. 4.10

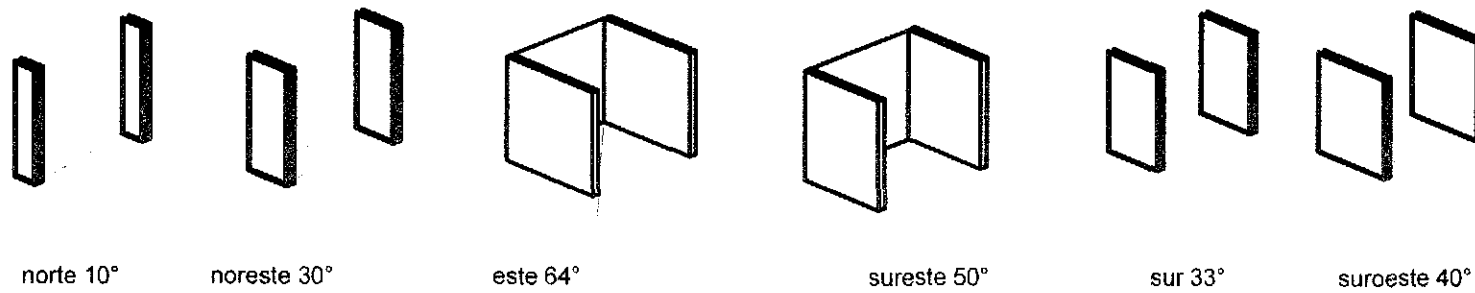


Fig. 4.9. Alzado de los ángulos óptimos de partesoles para diferentes orientaciones

En la orientación norte se tiene un ángulo reducido, de solo 10°, indicando que son pocas las horas de incidencia solar al año. En la fachada sur el partesol es el que protege del sol en las horas más bajas de su posición, incidiendo sólo en las primeras horas del amanecer y por las tardes.

El resultado combinado de los ángulos óptimos de ambos elementos, se puede representar como una mascarilla de sombreado, para esta solución particular, como se muestra en la figura siguiente para la orientación sur.

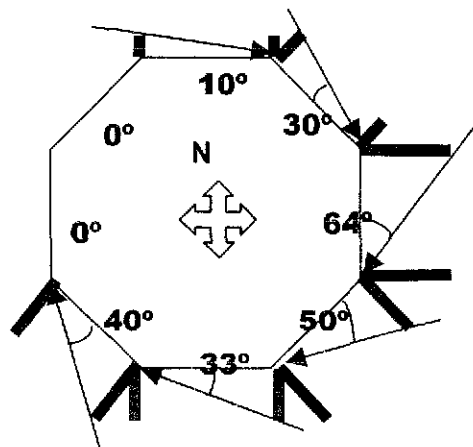


Fig. 4.10. Planta de los ángulos óptimos de los partesoles, para diferentes orientaciones

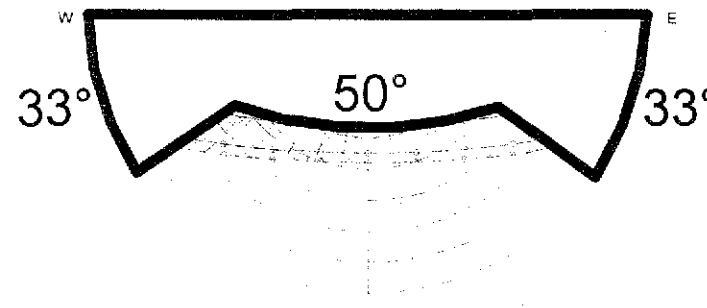
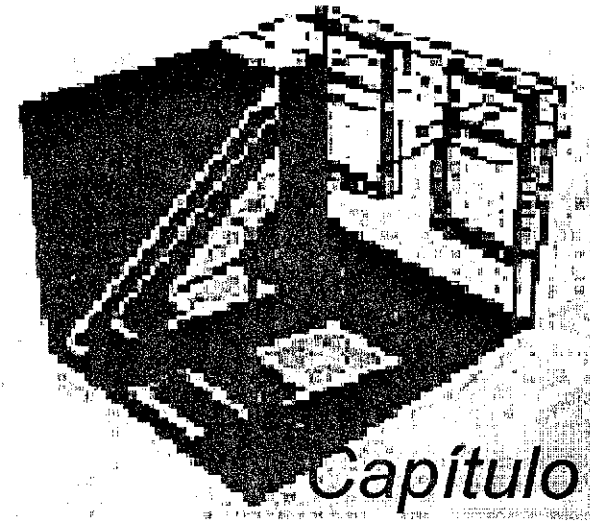


Fig. 4.11. Mascarilla que representa los ángulos combinados de control solar para la fachada sur



Evaluación e impacto del control solar en las ganancias de calor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Evaluación e impacto del control solar en la ganancia de calor

El motivo central de este capítulo consiste en mostrar los beneficios energéticos y ambientales que se obtienen como consecuencia de utilizar la técnica del control solar como parte del diseño bioclimático que busca regular la ganancia de calor al interior de las edificaciones.

El dato necesario para llevar a cabo el cálculo de la ganancia de calor es la radiación solar incidente en una localidad. Dicha radiación se puede obtener por diversos métodos, como son: Modelos matemáticos, métodos empíricos (mediciones efectuadas en estaciones meteorológicas) y el método gráfico propuesto por Víctor Olgyay. De éstos, el método gráfico mencionado presenta la ventaja de ser directo y sencillo. Por consiguiente, empezaremos por validar dicho método contra los datos medidos en la estación meteorológica de La Paz, B.C.S. Una vez hecho esto, procederemos a usar este método para el resto de nuestros cálculos.

5.1. Validación del método gráfico de cálculo de la radiación solar

Para validar el método de cálculo de la radiación solar se comparan los valores de radiación medidos por la Comisión Nacional del Agua en el observatorio meteorológico de la ciudad de La Paz, contra los datos que se obtienen por el método gráfico propuesto por Víctor Olgyay. Según este investigador, es

posible calcular, para cada latitud y orientación, la cantidad de radiación solar incidente en superficies opacas o transparentes, utilizando una mascarilla de radiación. La mascarilla de radiación está trazada horizontalmente, por el método equidistante, sobre material transparente para poder superponerla a la gráfica solar (ambas a la misma escala). La superposición de estas dos herramientas permite leer la cantidad de radiación que incide a cada hora (en la superficie vertical y horizontal) en los diferentes días y meses del año, para una cierta latitud.

La mitad inferior de esta mascarilla muestra la cantidad de radiación sobre superficies verticales y la mitad superior, la radiación que incide sobre la superficie horizontal (figura 5 1).

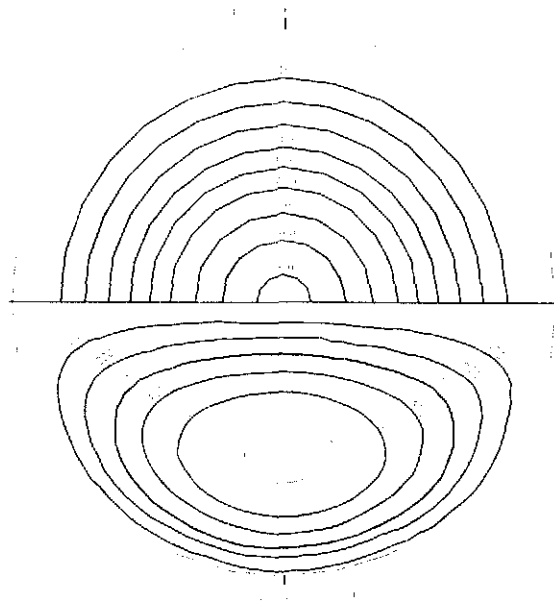


Figura 5.1 Mascarilla de radiación²²

Para el cálculo de la radiación, se emplea la gráfica cuya mitad inferior muestre las cantidades de radiación sobre superficies verticales y en la mitad superior, la que incide sobre superficies horizontales. Las líneas de radiación equivalente se indican a intervalos de 100 W/m^2 .

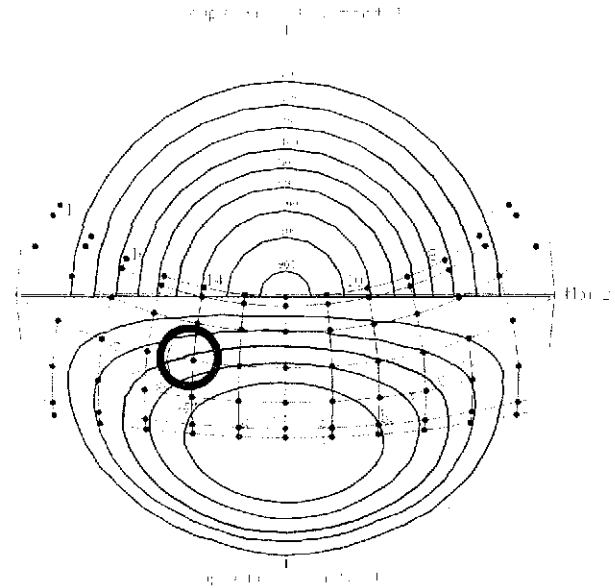


Figura 5.2 Cálculo de radiación en superficie vertical (fachada sur)

Por ejemplo, si deseamos conocer la radiación en la fachada sur a las 14 hrs. de un día del mes de marzo, sobreponemos la mascarilla de radiación para esa orientación a la gráfica solar correspondiente y encontramos que es de aproximadamente 320 Wh/m^2 (señalada con el círculo). De este modo, si sumamos las radiaciones correspondientes a cada hora del día, desde el amanecer hasta que se oculta el sol, para un determinado mes, obtenemos la radiación total diaria en ese mes. Por consiguiente, para conocer la radiación total en esa orientación, deben sumarse

²² Tomada de Olgyay



las radiaciones correspondientes a todos los meses, calculadas similarmente (figura 5.2).

Aplicando este método, en la tabla 5.1 se muestra la radiación calculada que incide sobre las cuatro orientaciones verticales en las diferentes horas del día y a lo largo de todo el año.

Como puede observarse en dicha tabla, la orientación sur es la que recibe valores mayores de radiación, esto es, recibe una radiación mayor a $4 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$. En los meses de invierno, ésta disminuye hacia los equinoccios y, finalmente, conforme se desplaza el sol hacia el norte, va disminuyendo hasta no recibir radiación en el mes de junio.

Por su parte, las fachadas oriente y poniente, por ser simétrico el recorrido del sol, reciben igual cantidad de radiación, ocurriendo la mayor incidencia en verano, cuando los días son más largos, obteniéndose una radiación de $2.72 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ en junio, la cual disminuye paulatinamente a sólo $1.31 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ en diciembre.

La fachada norte sólo recibe radiación en los meses del verano, en que el sol está en su posición más alta y, consecuentemente, sólo presenta radiación desde abril hasta agosto, ocurriendo la mayor en el mes de junio, con aproximadamente $1.2 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$, y llega hasta cero en los meses invernales en que el sol se desplaza hacia el sur.

Una vez determinada la radiación a lo largo del año en cada una de las orientaciones verticales, se procede también a calcular la radiación sobre la superficie horizontal, utilizando ahora la parte superior de la mascarilla de radiación solar (figura 5.3).

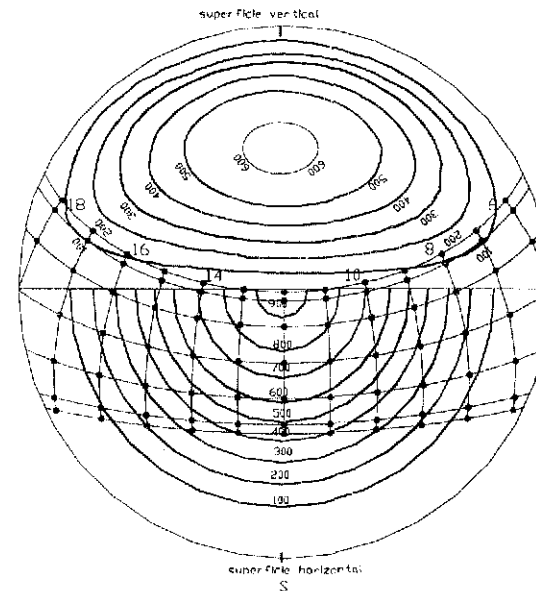


Figura 5.3 Cálculo de la radiación solar en superficies horizontales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

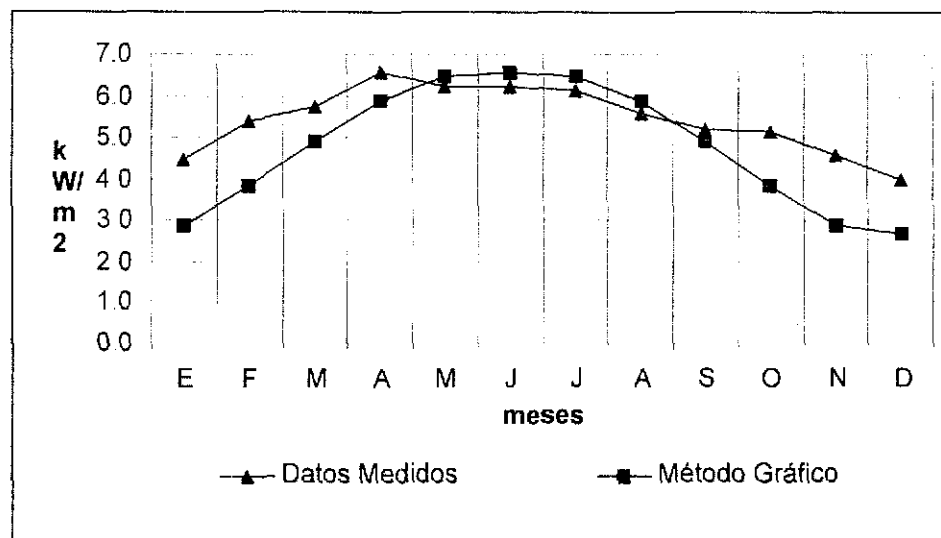
Meses	W/hr m ²													kW/m ² día
	Horas del día													
	Fachada norte													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
jun	100	260	120	100	20				20	100	120	260	100	1.20
may, jul	80	110	100	20						20	100	110	80	0.62
abr, ago	30	40										40	30	0.14
Fachada este														
jun	180	510	600	620	510	300								2.72
may, jul	170	500	600	630	520	300								2.72
abr, ago	100	390	590	640	520	300								2.54
mar, sep		250	500	580	500	300								2.13
feb, oct		150	390	520	450	290								1.80
ene, nov		90	290	420	390	210								1.40
dic		60	270	400	380	200								1.31
Fachada oeste (simétrica a la este)														
jun								300	510	620	600	510	180	2.72
may, jul								300	520	630	600	500	170	2.72
abr, ago								300	520	640	590	390	100	2.54
mar, sep								300	500	580	500	250		2.13
feb, oct								290	450	520	390	150		1.80
ene, nov								210	390	420	290	90		1.40
dic								200	380	400	270	60		1.31
Fachada sur														
jun														0
may, jul					80	10	100	10	80					0.28
abr, ago				10	100	190	280	290	280	190	100	10		1.45
mar, sep			50	150	250	370	450	490	450	370	250	150	50	3.03
feb, oct			80	240	350	480	550	590	550	480	350	240	80	3.99
ene, nov			50	250	380	510	590	650	590	510	380	250	50	4.21
dic			40	240	480	510	590	660	590	510	480	240	40	4.38

Tabla 5 1. Radiación solar en las diferentes orientaciones verticales, calculada según el método gráfico

De igual manera que para la superficie vertical, se suma en cada mes, hora por hora, la radiación incidente, para obtener finalmente la radiación total en la horizontal (tabla 5.2). Como puede observarse, para el mes de junio, se tiene una radiación máxima de 6.58 kW/m² día. Mientras el sol recorre la bóveda celeste hacia el sur, conforme transcurre el año, la radiación va siendo menor, debido al ángulo de incidencia sobre la superficie, llegando a valores mínimos en el invierno de 2.69 kW/m² día, en el mes de diciembre.

Meses	W/hr m2													kW/ m2 día
	Hora del día													
	Horizontal													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
jun	50	180	350	560	740	910	1000	910	740	560	350	180	50	6.58
may, jul	50	170	350	540	720	910	980	910	720	540	350	170	50	6.46
abr, ago	30	120	300	500	710	820	930	820	710	500	300	120	30	5.89
mar, sep		80	250	410	600	720	780	720	600	410	250	80		4.9
feb, oct		60	150	320	490	580	650	580	490	320	150	60		3.85
ene, nov		30	100	270	360	420	520	420	360	270	100	30		2.88
dic		25	90	250	330	410	480	410	330	250	90	25		2.69

Tabla 5.2. Radiación solar sobre la horizontal calculada según el método gráfico



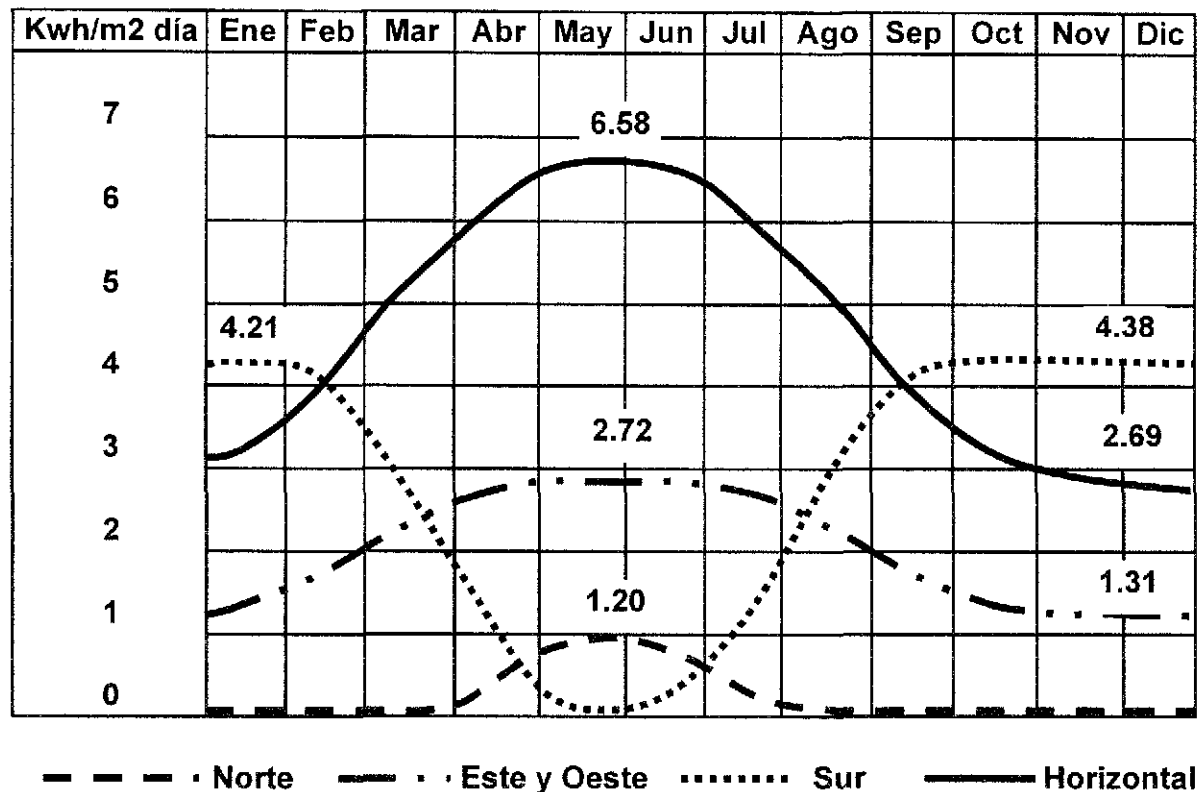
Gráfica 5.1. Radiación sobre la horizontal, validación del método gráfico

Ahora bien, si graficamos los valores de la radiación solar sobre el plano horizontal anteriormente calculados, junto con los valores medidos en la estación meteorológica de La Paz (consignados en la tabla 3.5 del capítulo 3), podemos observar la discrepancia relativa entre ambos métodos (gráfica 5.1).

Estos resultados validan suficientemente el método y permiten suponer que en la mascarilla de radiación empleada por Olgyay, posiblemente puedan ajustarse las zonas en las que la posición del sol es más baja debido a que, como se muestra en la gráfica, en los meses en que el sol está más arriba en la bóveda celeste, los valores son muy parecidos en ambos casos, mientras que en los meses en que el sol se desplaza más abajo, crece el porcentaje de diferencia, que no es muy grande, requiriendo que tal vez sea

necesario desplazar ligeramente las zonas de radiación conforme varíe la latitud del lugar de estudio (aunque sería conveniente hacer un análisis más detallado al respecto, lo cual excede el propósito de este trabajo).

Considerando que el método gráfico es suficientemente confiable, podemos conjuntar los resultados obtenidos en las tablas 5.1. y 5.2 en la gráfica 5.2, en donde, con diferentes tipos de línea, se muestra la radiación solar incidente sin control solar en las cuatro orientaciones verticales y en el plano horizontal.

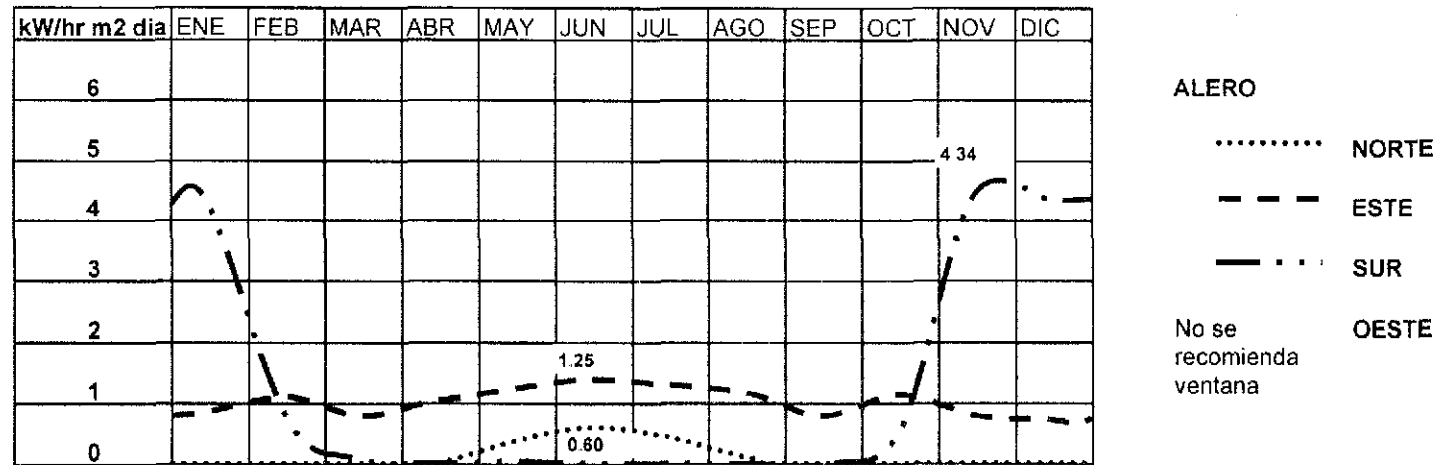


Gráfica 5.2 Radiación en las diferentes superficies

5.2. Radiación incidente en superficies

Ahora podemos calcular con el método gráfico, la radiación solar neta que se obtiene cuando se utiliza el control solar, es decir, la

obstrucción a la radiación que resulta de aplicar el alero, el partesol y la combinación de ambos (cuyos ángulos óptimos de protección se calcularon en el capítulo 4), en las cuatro orientaciones principales.



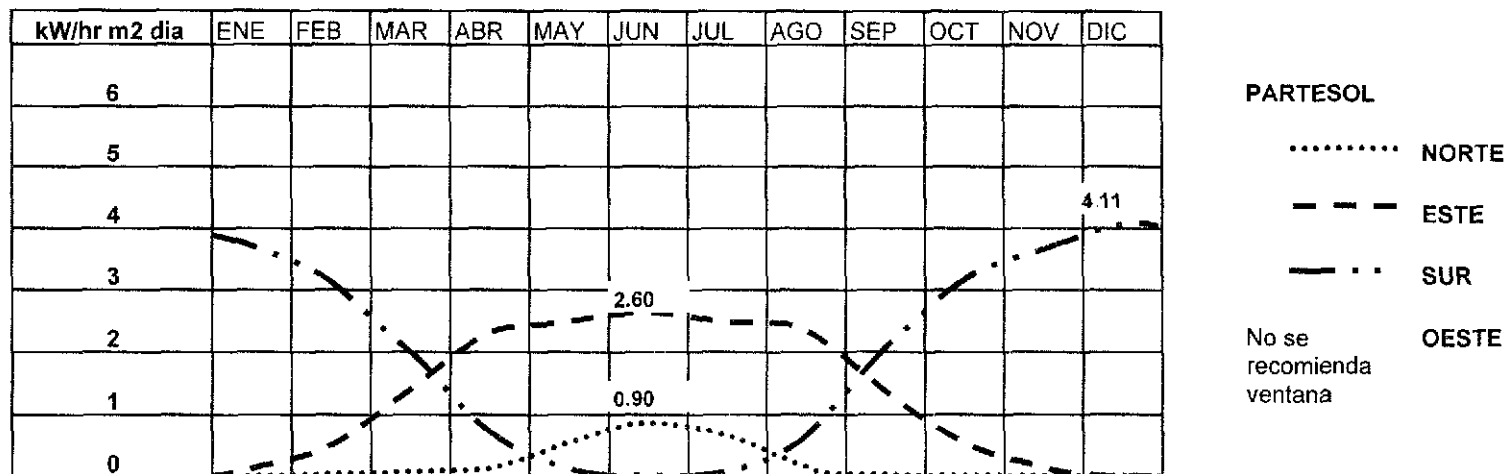
Gráfica 5.3. Cálculo de la radiación incidente en ventanas protegidas con aleros

5.3. Cálculo de la radiación incidente con la protección del alero

En la fachada Norte, con un alero de 71°, la radiación que incide en los meses de verano es poca, sobre todo en las horas en que el sol se encuentra más cercano a la aurora y al ocaso. Se observa que la curva crece hacia los meses de primavera y verano, mientras que decrece hacia los de invierno, en que el sol declina hacia el sur del hemisferio (gráfica 5.3). Se tiene así una radiación de 0.60 kW/hrm²día en el mes de junio, mientras que en los meses de invierno no hay radiación en esta fachada.

En la fachada Este, con un alero de 40°, se tiene una radiación máxima de 1.25 kW/hrm²día en verano; en los meses de invierno se tiene una ganancia de aproximadamente 0.77 kW/hr m²día, es decir, todo el año se tiene radiación solar.

En la fachada sur con un alero de 50°, se obtiene la mayor radiación en invierno, con 4.34 kW/hr m²día, mientras que en los meses de calor no se permite la radiación solar.

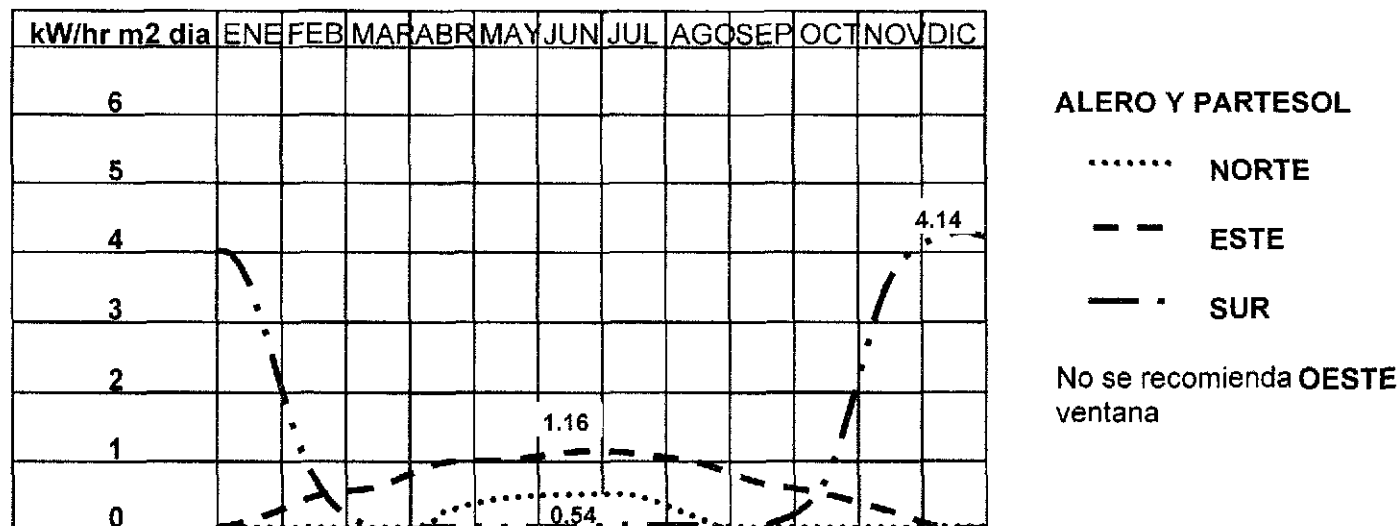


Gráfica 5.4. Cálculo de la radiación incidente en ventanas protegidas con partesoles

5.4. Cálculo de la radiación incidente con la protección del partesol

La radiación solar en la fachada norte (gráfica 5.4), con un partesol de 10°, es de 0.90 kW/hr m² día en los meses en que el sol incide sobre esta fachada, es decir, durante el verano. La fachada Este

con un partesol de 64°, presenta mayor radiación en los meses del verano, 2.60 kW/hr m² día, mientras que en los meses fríos es mínima, llegando a cero en diciembre. En la fachada Sur, con un partesol de 33°, la mayor radiación se tiene en los meses fríos, con 4.11 kW/hr m² día, y es mínima en el verano, llegando a cero en junio.



Gráfica 5.5. Cálculo de la radiación incidente con la protección de ambos elementos

5.5. Cálculo de la radiación incidente con la protección de aleros y partesoles

La radiación solar en la fachada Norte (gráfica 5 5) es de 0.54 kW/hr m² día, en los meses de verano. La fachada Este presenta mayor radiación en los meses del verano, 1.16 kW/hr m²día, mientras que en los meses fríos es mínima. En la fachada sur con un partesol de 33°, la mayor radiación se tiene en los meses fríos, con 4 14 kW/hr m²día, y mínima en los del verano, llegando a cero en junio.

La radiación solar en la fachada Norte es de 1 30 kW/hr m²día, en los meses de verano. La fachada Este presenta la mayor radiación en los meses del verano, 1 87 kW/hrm² día.

Podemos apreciar cómo el empleo de los elementos de control solar permite obtener una radiación solar más equilibrada, si comparamos la radiación sobre una superficie sin elementos de control contra una con elementos de protección. Por ejemplo, en la época de verano, en la fachada norte se disminuye la ganancia de 1.2 kW/m² a 0.54 kW/m², (55% menos) y a través de la fachada Este y Oeste se disminuye la radiación de 2.72 kW/m² a 1.16 kW/m², que es un 57% de reducción

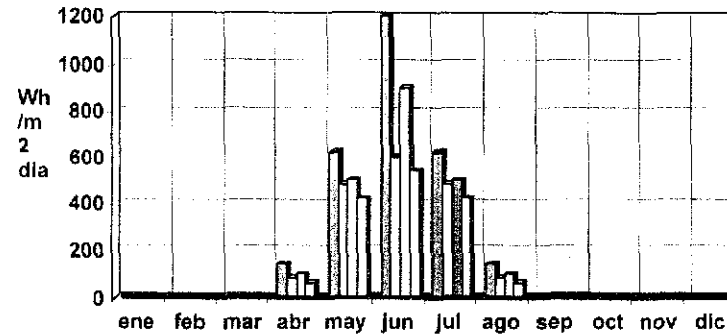
En invierno no se tiene radiación en la fachada norte, mientras que en la fachada sur sólo se disminuye de 4 38 kW/m² a 4.14 kW/m², es decir, se permite el paso de la mayor parte del calor, 94%, en el invierno.

Los resultados anteriores se muestran en forma de diagrama de barras en las gráficas 5.6 y 5.7, con objeto de tener una mejor apreciación visual del beneficio obtenido

De izquierda a derecha las cuatro barras representan: la primera, la radiación en fachada sin protección, la radiación en fachada con el uso de aleros, la radiación en fachada con partesoles y la cuarta barra muestra la radiación en fachada con el uso de ambos elementos.

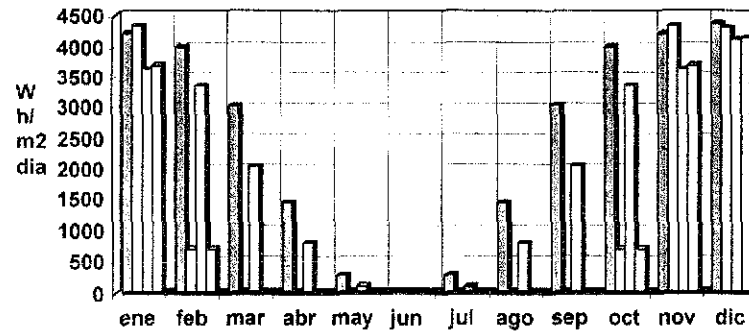
En el caso de la fachada norte (gráfica 5.6) se observa que con el empleo del control solar, en el mes de junio se redujo la radiación de 1200 Wh/m² día sin control solar a 540 Wh/m² día con la combinación de ambos elementos de control solar

Mientras que en la fachada sur (gráfica 5.7) se tiene, para el mismo mes de junio, que de 280 Wh/m² día sin elementos de control solar se redujo a cero Wh/m² día con el empleo de éstos.



□ Sin control solar □ Con aleros
 □ Con partesoles □ Con ambos elementos de control

Gráfica 5.6. Radiación con y sin protección solar en la fachada norte



□ Sin control solar □ Con aleros
 □ Con partesoles □ Con ambos elementos de control

Gráfica 5.7 Radiación con y sin protección en la fachada sur

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.6. Ganancia de calor en una vivienda de interés social

Para poder calcular la ganancia de calor al interior de una edificación, es necesario disponer de los siguientes datos:

- Cantidad de radiación incidente en la localidad elegida, calculada previamente en este capítulo.
- Ángulo óptimo de protección de aleros y partesoles, obtenidos en el capítulo 4.
- Características de las partes transparentes (ventanas): orientación, área y transmitancia del vidrio.

Estos últimos datos se especifican a continuación, para el ejemplo de aplicación elegido, que es la vivienda prototipo U1-2R-50 del Infonavit, de 50 m², figuras 5.4, 5.5 y 5.6, cuyas características son: La fachada norte tiene un área de ventana de 2.48 m² y la fachada sur 2.00 m²; se tiene en las ventanas vidrio claro de 3 mm y con 80% de transmitancia.

Para el cálculo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se considera la época de verano
- Las partes opacas (muros y techo) estarán aisladas térmicamente de forma adecuada, lo cual implica que no existe ganancia de calor por conducción, puesto que interesa analizar la ganancia por radiación directa a través de las ventanas,

cómo se regula por el uso del control solar y el efecto que se tendría en el interior.

- La vivienda tendrá una orientación norte-sur, por lo tanto la ganancia de calor se obtendrá para esta orientación.

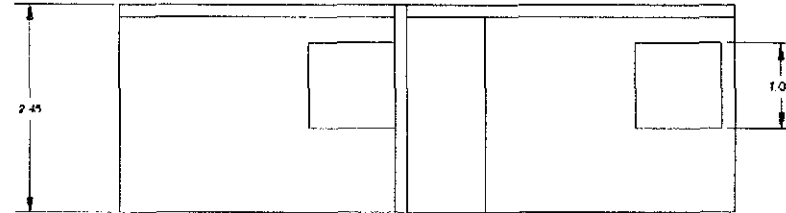


Fig. 5.4 Fachada principal (sur)²³

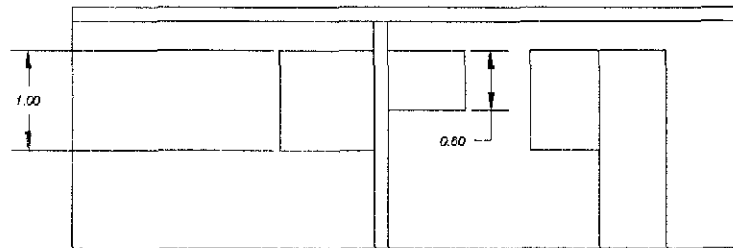


Fig. 5.5 Corte hacia la fachada posterior (norte)

²³ Los planos y datos de la vivienda se tomaron de: Díaz, Rodolfo; Morillón, David (1999) "Comportamiento térmico de la vivienda de interés social en diferentes regiones climáticas del país" XXIII Semana nacional de energía solar. ANES. Morelia, Mich

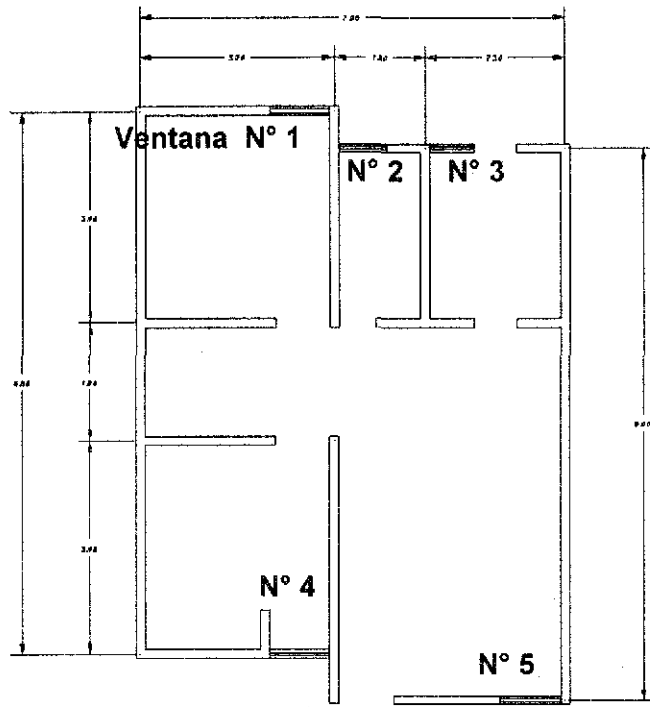


Fig. 5.6. Vivienda tipo U1-2R-50 (Planta)

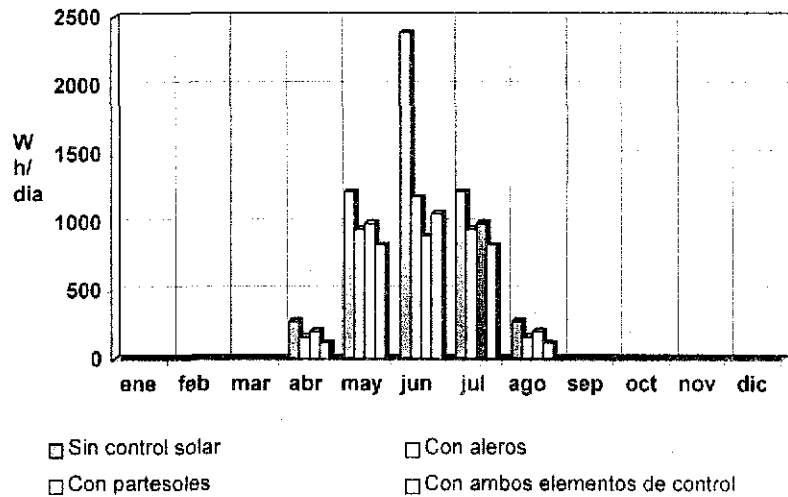
uso de aleros, partesoles y su combinación, por el área de la ventana y la transmitancia del vidrio

Para los aleros el ángulo en la fachada norte es de 71° y en la fachada sur es de 50° . Los partesoles en la fachada norte tienen un ángulo de 10° y para la fachada sur es de 33° .

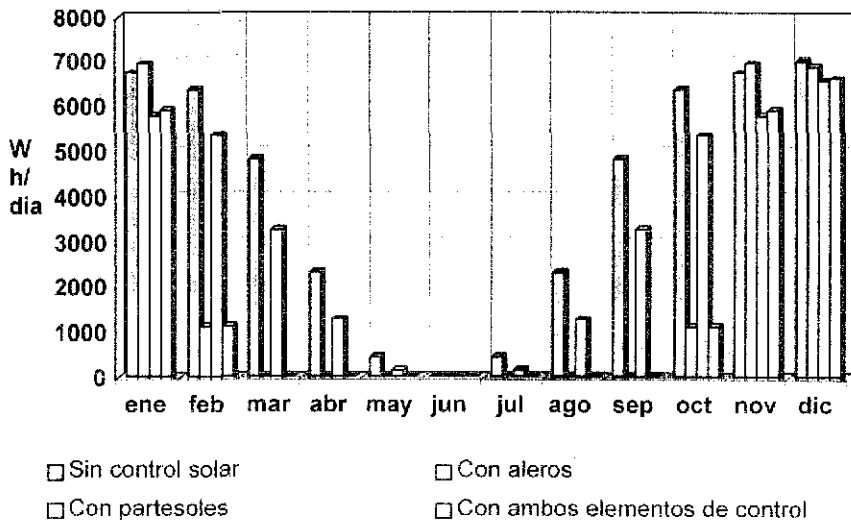
Los resultados se muestran en cuatro barras por mes, de izquierda a derecha, que representan los valores obtenidos. Se observa que para los meses del verano (junio, julio y agosto) en ambas fachadas y de manera total la radiación disminuye de $6,657 \text{ W}$ sin control solar a $2,024 \text{ W}$ con elementos de control, es decir, disminuye un 70% (gráfica 5.8). Mientras que en la época de invierno (diciembre, enero y febrero) de $20,128 \text{ W}$ sin protección pasan $13,664 \text{ W}$ con el uso del control solar, es decir, se capta el 68% de la radiación (gráfica 5.9).

Una vez determinada la radiación en las fachadas el primer paso será conocer la ganancia de calor al interior de la vivienda, sin el uso del control solar, multiplicando la radiación incidente sobre la fachada por el área de la ventana y la transmitancia del vidrio claro de 3mm (80%)

El segundo paso consiste en calcular la ganancia de calor al interior de la vivienda, cuando se utiliza el control solar, multiplicando, en este caso, la radiación incidente reducida por el



Gráf. 5.8. Ganancia al interior por fachada norte



Gráf. 5.9. Ganancias al interior por fachada sur

Como se observa, a lo largo de todo el año los elementos de control solar (aleros y partesoles) con sus ángulos óptimos de protección, regulan la ganancia de calor, esto es, disminuyen la ganancia en la época de verano y permiten una buena captación solar en la época de invierno.

El análisis anterior se realizó para una vivienda localizada en La Paz, B.C.S. Sin embargo, ahora es necesario calcular el potencial de disminución de ganancia, así como la disminución de emisiones de CO₂ en el ámbito nacional, de acuerdo a una proyección del Infonavit de la demanda de vivienda popular en cada uno de los estados.

5.7. Ahorro de energía y disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera

Para conocer el potencial de disminución tanto de la ganancia solar con el empleo del control solar en el país, como la disminución en las emisiones de CO₂ a la atmósfera, por el menor requerimiento de equipos de climatización, el país se subdividió en grupos de estados que se encuentran localizados en diferentes latitudes (Figura 5.7). Por ejemplo, el grupo "A" está conformado por los estados que se localizan entre los 28° y 32° de latitud norte y son Baja California, Chihuahua y Sonora (tabla 5.3)



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

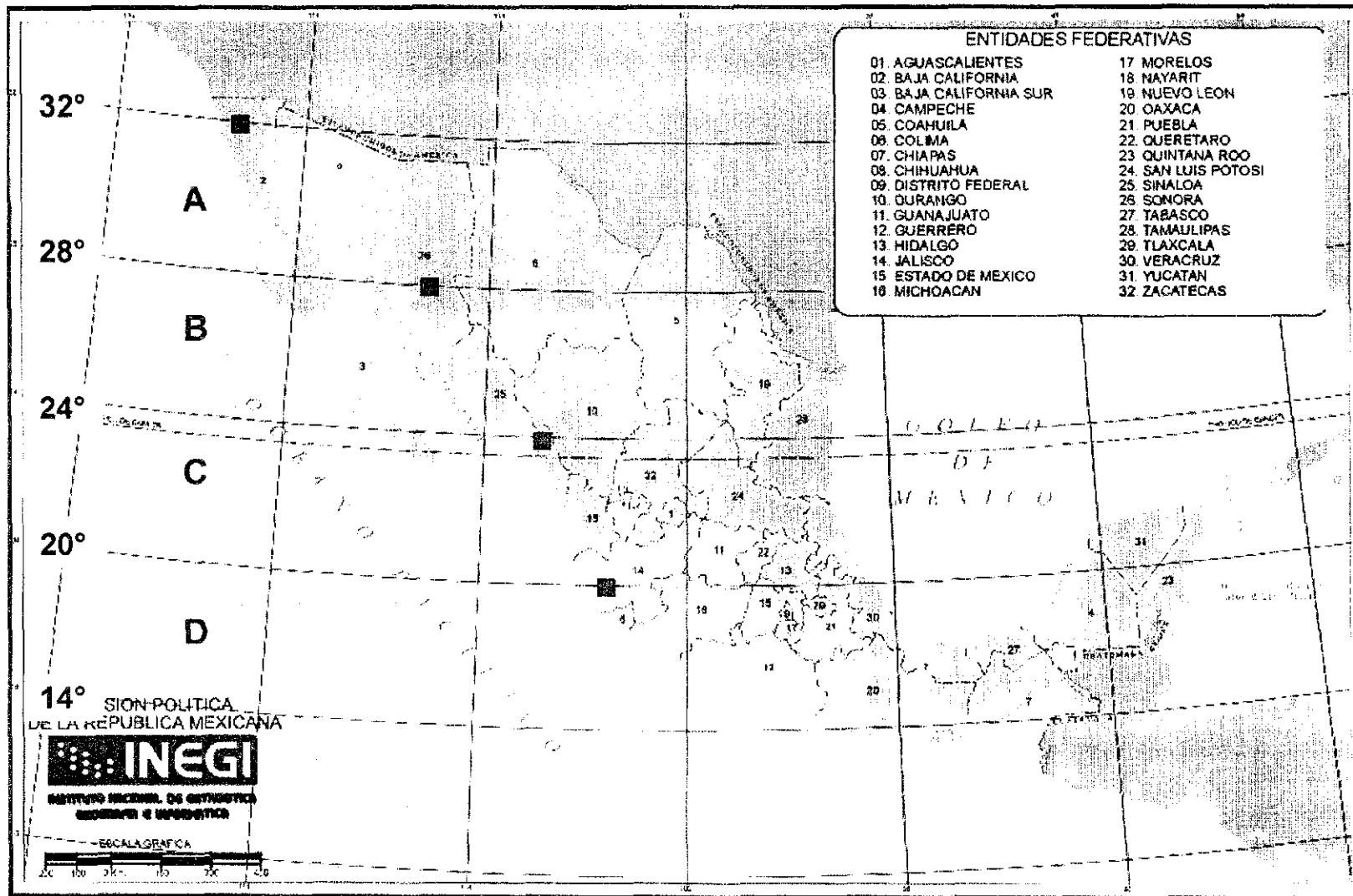


Fig 5.7 Agrupación de estados por rangos de latitud y ubicación de la vivienda en cada grupo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grupo	Estados que lo comprenden	Latitudes
A	Baja California, Chihuahua, Sonora	28° - 32°
B	B C Sur, Coahuila, Durango, Nvo León, Sinaloa, Tamaulipas	24° - 28°
C	Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Querétaro, Sn Luis Potosí, Yucatán, Zacatecas	20° - 24°
D	Campeche, Colima, Chiapas, D.F., Guerrero, Edo. Méx., Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz	14° - 20°

Tabla 5.3. Grupos de estados en rangos de latitud

Esta clasificación se hizo considerando la variación del recorrido solar a lo largo del territorio nacional. El cálculo se llevó a cabo de la siguiente manera

Primeramente se calculó, por el método gráfico, la radiación incidente en los meses de verano, tanto en la fachada norte como en la sur, en las diferentes latitudes (14°, 20°, 24°, 28° y 32°). En los meses de mayo a julio, en las latitudes 14° y 20° sólo se tiene ganancia en la fachada norte, mientras que en las latitudes restantes, se tiene ganancia en ambas fachadas. En cada una de estas latitudes se colocó el prototipo de vivienda con los elementos de control solar, multiplicando la radiación por el área de la ventana y la transmitancia del vidrio. Así se calcularon los datos de base para poder obtener los porcentajes de la disminución de la ganancia con el empleo de los elementos de control solar (tabla 5.4).

latitud	sin control solar	con control solar	diferencia	% disminuido
14°	8,214	3,333	4,881	59
20°	5,158	2,778	2,381	46
24°	6,774	3,011	3,763	55
28°	7,956	3,011	4,946	62
32°	9,928	2,903	7,025	70

Tabla 5.4. Disminución de la ganancia con el empleo del control solar

Se puede observar que en las latitudes mayores, el efecto del control solar aporta mayores disminuciones de ganancia solar. La cantidad de viviendas a construirse por estado²⁴ se sumó en cada grupo dando un total como se presenta en la tabla 5.5

Grupo	N° de Viviendas	Latitudes
A	30,710	28° - 32°
B	45,390	24° - 28°
C	51,596	20° - 24°
D	77,650	14° - 20°

Tabla 5.5 N° de viviendas en las diversas latitudes

Con estos datos se puede calcular, para ese número total de viviendas, la ganancia que se obtiene sin control solar, tabla 5.6, y la disminución que se obtendrá con el uso del control solar, tabla 5.7, que resulta ser de 819 MW.

²⁴ Foro Concretando el futuro de la vivienda en México, CEMEX

latitud	Watts Sin control solar	N° viviendas	MW ganados
14°-20°	5,158	77,650	401
20°-24°	6,774	51,596	350
24°-28°	7,956	45,390	361
28°-32°	9,928	30,710	305
		Total	1,416

Tabla 5.6 Ganancia de calor sin control solar

latitud	disminución Watts	N° viviendas	MW disminuidos
14°-20°	2,381	77,650	185
20°-24°	3,763	51,596	194
24°-28°	4,946	45,390	224
28°-32°	7,025	30,710	216
		Total	819

Tabla 5.7 Disminución de la ganancia de calor por el uso del control solar

Una vez calculada la disminución de ganancia de calor en cada latitud analizada, con el empleo de los elementos de control solar, podrá cuantificarse también la disminución de las necesidades de equipo de climatización, dado que la disminución en watts de la ganancia de calor (tabla 5.7) equivale a la carga de enfriamiento ahorrada y, por tanto, podemos determinar la capacidad del equipo de climatización que hubiera sido necesario emplear para suplir dicha ganancia (Ton. de refrigeración)

El procedimiento general que seguimos consiste en relacionar los watts térmicos (disminución de ganancia de calor) con los BTUs equivalentes para poder determinar la capacidad de refrigeración del equipo de A/A, expresada en Ton. de refrigeración. Una vez obtenida esta magnitud se puede recurrir a las especificaciones técnicas de los fabricantes de dicho equipo para conocer el consumo de energía eléctrica correspondiente a equipos de una capacidad determinada. Este consumo de energía eléctrica es el que se ahorrará como consecuencia del empleo del control solar, y es el que está directamente ligado con la disminución de ganancia de calor, la relación básica utilizada en los cálculos es:

- $3.5 \text{ kW} = 1 \text{ Ton de refrigeración} = 12,000 \text{ BTU.}^{26}$

Los cálculos así elaborados se muestran en la tabla 5.8, en la cual podemos apreciar que con el empleo del control solar, se dejan de consumir 351,278 kW de electricidad, así como se dejan de emitir 239.22 Ton de CO₂ al ambiente, por concepto de disminución en el requerimiento de energía eléctrica consumida por el equipo de aire acondicionado (tabla 5.8).

Similarmente, y considerando la proyección del crecimiento de la vivienda y los requerimientos que indica Infonavit, 2'310,000 viviendas construidas para el año 2010, distribuidas en cada

²⁶ Koenigsberger, et al (1977) Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales pp. 85

grupo de estados, podemos calcular los KW ahorrados y la cantidad de toneladas de CO₂ que se evitaría emitir hasta dicho año

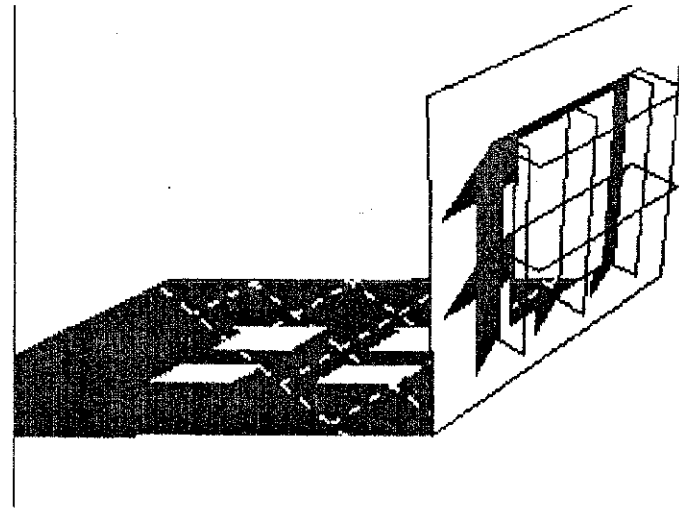
Grupo	latitud	kW disminuido/ vivienda	Capacidad de equipo necesario. Ton de Ref.	BTU del equipo	Consumo en kW del equipo ahorrado/ por vivienda	N° viviendas	kW eléct. ahorrados	Ton CO2 evitadas
A	28°-32°	7.03	2.00	24,000	2.87	30,710	87984	59.92
B	24°-28°	4.95	1.40	16,800	2.02	45,390	91688	62.44
C	20°-24°	3.76	1.05	12,600	1.52	51,596	78426	53.41
D	14°-20°	2.38	0.65	7,800	1.20	77,650	93180	63.46
						total	351278	239.22

Tabla 5.8. kW ahorrados y Toneladas de CO₂ evitadas, para el año 2002

Consumo en kW del equipo ahorrado/ por vivienda	N° viviendas al 2010	kW eléct. Ahorrados al 2010	Ton CO2 evitadas al 2010
2.87	877,800	2514897	1712.64
2.02	577,500	1166550	794.42
1.52	508,200	772464	526.05
1.20	346,500	415800	283.16
total		4869711	3316.27

Tabla 5.9. kW ahorrados y Ton de CO₂ evitadas, para el año 2010

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



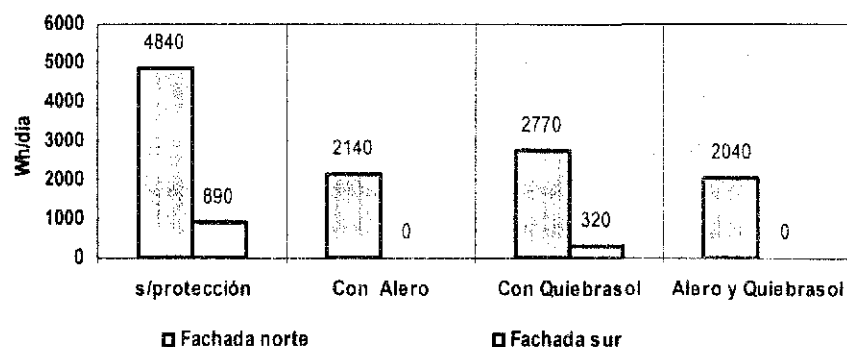
Resultados

Resultados

En este apartado se presentan en forma concentrada los resultados relevantes obtenidos en este trabajo, para la localidad analizada, respecto a:

- La ganancia de calor en la vivienda tipo, con y sin el empleo del control solar.
- La disminución potencial en el consumo de energía eléctrica necesaria para la climatización y
- La reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Ganancia de calor



Gráf 5.10. Ganancia de calor en Wh/día durante el verano para La Paz, B.C.S.

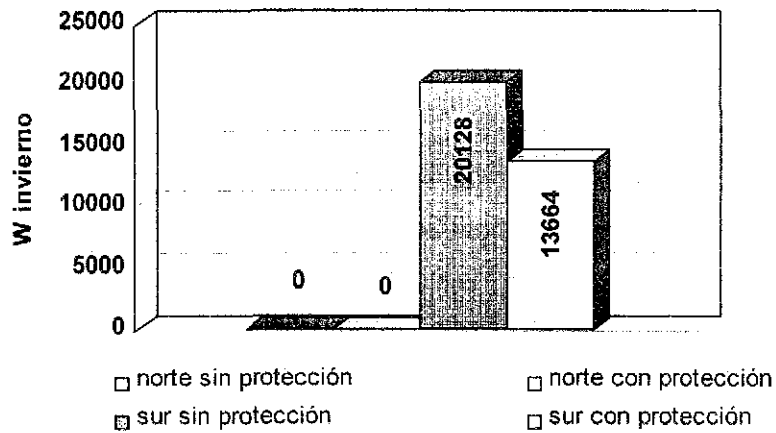
En la gráfica 5.10 se presenta la disminución de la ganancia de calor durante el verano, que es cuando más se emplea equipo de aire acondicionado en la ciudad de La Paz, B.C.S. Se observa que en la fachada norte la ganancia de calor tuvo una reducción del 58%, al pasar de 4840 Wh/día sin control solar, a 2040

Wh/día con el empleo combinado de ambos elementos de protección. En la fachada sur la reducción obtenida fue del 100%, pasando de 890 Wh/día a cero Wh/día. Considerando ambas fachadas se obtuvo una reducción total del 64% en la ganancia de calor al interior de la vivienda.

Durante el invierno (gráfica 5.11), debido al recorrido solar, no se tiene ganancia en la fachada norte, mientras que en la fachada sur los elementos de control solar permitieron el paso del 68% de la radiación, es decir, de 20,128 W se captaron 13,664 W.

Posteriormente se hizo la extrapolación a escala nacional, es decir, se determinó la radiación incidente sobre las fachadas norte y sur para diferentes latitudes (14°, 20°, 24°, 28° y 32°) con y sin elementos de control solar, lográndose importantes disminuciones en la ganancia de calor. En las latitudes mencionadas y en ese mismo orden, se obtuvieron disminuciones del 59%, 46%, 55%, 62% y 70% respectivamente

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 5.11. Ganancia de calor al interior durante el invierno

Ahorro potencial de energía

Vimos en el párrafo anterior que con el empleo combinado de los elementos de control solar se puede disminuir hasta un 70% la ganancia de calor en las viviendas durante el verano, siempre y cuando la envolvente arquitectónica (parte opaca de la misma) cuente con el aislamiento térmico adecuado. Esto permite indicar que, en virtud de que la ganancia de calor incide de manera directa en el consumo de la energía eléctrica requerida por los equipos de aire acondicionado, se puede obtener una importante disminución en la demanda y consumo de dicha energía con el empleo de los elementos de control solar en las viviendas durante el verano. Este ahorro de energía implica, desde luego, una disminución en la quema de combustibles fósiles (recurso

natural no renovable) utilizados para generar energía eléctrica y en la consecuente disminución de CO₂ emitido a la atmósfera, ya que por cada Kw/h ahorrado se deja de emitir 0.681 kg. de CO₂

Para estimar este ahorro potencial de energía eléctrica se tomó en cuenta la siguiente información

- El Infonavit indica que se construirán 231 000 viviendas anuales²⁷, es decir, en el periodo 2000 – 2010, se habrán construido 2'310,000 viviendas, aproximadamente.
- El Instituto de Investigaciones Eléctricas (1999) indica que dentro del sector residencial 8,795 GW/h se destinan para climatización.
- Por cada Kw/h ahorrado, se deja de emitir 0.681 kg. de CO₂ a la atmósfera.

Se agruparon los estados de la República, en cuatro grupos, el primero de ellos, denominado con la letra "A", está conformado por los estados que se localizan entre los 28° y 32° de latitud norte, es decir, Baja California, Sonora y Chihuahua; en los tres grupos restantes, B, C y D, se agruparon los estados localizados geográficamente entre los rangos de latitud 24° a 28°, 20° a 24° y 14° a 20°, respectivamente.

Con el empleo del control solar, la ganancia por vivienda disminuye hasta en 7.03 kW en el grupo A y, hasta 2.38 kW en el

²⁷ Página en Internet de Infonavit <http://148.243.238.171/data/navega/htm>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

grupo D, teniendo un ahorro en el total de viviendas de 351,278 kW, esto quiere decir que se dejarán de emitir a la atmósfera 239 Ton de CO₂.

Considerando la cantidad de viviendas por construir, para el año 2010 se tendrá un ahorro eléctrico de 48'697,711 kW, dando como resultado, que se evite la emisión de 33,163 Ton de CO₂ a la atmósfera, por concepto de quema de combustibles para la generación de energía.

Finalmente se hizo la aplicación con el anteproyecto de norma NOM-020-ENER, Eficiencia energética en edificaciones, norma para la envolvente de edificios para uso habitacional hasta tres pisos. Con los ángulos óptimos obtenidos para aleros y partesoles, se calcularon las dimensiones de dichos elementos de acuerdo a las dimensiones de las ventanas en ambas fachadas (numeradas en la planta del proyecto) como se muestra en la tabla 5.10.

Fachada	N° de ventana	Dimensiones (m)		
		Alero	Partesol	Ventana
Norte	1	0.34	0.17	1.00x1.00
	2	0.20	0.17	1.00x0.60
	3	0.34	0.15	0.88x1.00
Sur	4	0.83	0.65	1.00x1.00
	5	0.83	0.65	1.00x1.00

Tabla 5.10. Dimensiones de ventanas y elementos sombreadores

Se calcularon también las relaciones W/H, L/H para aleros, y L/W para partesoles propuestas en dicha norma (Tabla 5.11) en donde:

W = Ancho de ventana

H = Altura de ventana

L = Longitud del elemento sombreador

Fachada	N° de ventana	Relación Alero		Relación Partesol
		W/H	L/H	L/W
Norte	1	1.00	0.34	0.17
	2	1.60	0.33	0.17
	3	0.88	0.34	0.15
Sur	4	1.00	0.83	0.65
	5	1.00	0.83	0.65

Tabla 5.11 Relaciones dimensionales para aleros y partesoles

Una vez conocida estas relaciones, se calculan los factores de corrección por sombreado exterior, según las tablas propuestas en la NOM mencionada, las cuales nos indicarán el porcentaje final de sombreado adicional que se va a obtener, para las dimensiones de las ventanas consideradas (tabla 5.12).

Fachada	N° de ventana	Con Alero	Con Partesol	ventana remetida
Norte	1	0.84	0.84	0.653
	2	0.81	0.84	0.672
	3	0.83	0.86	0.72
Sur	4	0.64	0.46	0.28
	5	0.64	0.46	0.28

Tabla 5.12. Factores de corrección por sombreado exterior

En nuestro caso, para ventanas 1 y 2 orientadas al norte, el factor será de 0.84, mientras que para la ventana 3, será de 0.86. Las ventanas orientadas al sur tendrán factor de corrección de 0.64.

Estos resultados nos permiten apreciar la ventaja que representa el haber calculado previamente los ángulos óptimos de protección de los elementos de control solar, para una ventana de dimensiones dadas, puesto que los factores de corrección por sombreado exterior que se obtienen a partir de los datos, resultan ser comparables o mayores al porcentaje de sombreado que ofrecen los elementos de control por sí mismos.

Conclusiones

Conclusiones

Los objetivos planteados en la introducción del presente trabajo han sido cubiertos de manera satisfactoria. Se validó el método gráfico con el cual se calculó la radiación solar, comparándolo contra los datos de radiación medidos en el observatorio meteorológico de La Paz, en el periodo 1994 a 1999.

En los meses con mayores temperaturas (verano), con el método gráfico se obtuvo mayor radiación, siendo superior a los datos medidos en 380 W/m^2 día, mientras que en los meses en donde se requiere de su captación, los datos medidos son superiores en 1.28 KW/m^2 día, respecto de los datos calculados, lo cual resulta favorable, puesto que es la época en la que se requiere captación de la radiación solar.

Al complementar el método de Gabriel Gómez Azpeitia, con la parte del diseño de los ángulos óptimos de partesoles, disponemos de un método integral para el diseño de elementos de control solar

Siguiendo esta metodología se pueden obtener los ángulos óptimos de los elementos de control solar para cualquier orientación y latitud. Se pretende, además, elaborar un documento que sirva como guía para la aplicación de esta metodología.

En un futuro cercano será necesario hacer un software, que sirva para diseñar estos elementos adaptados a los climas de la República Mexicana, puesto que ya existe un atlas bioclimático del país que precisa las condiciones de confort, frío y calor necesarias para diseñar dichos elementos. Existen programas similares, como el Winshade, que cuentan con datos para Australia, Singapur y gran parte de la India.

De acuerdo al objetivo general planteado, con este trabajo se pudo calcular y evaluar el efecto de los elementos de control solar en las edificaciones para regular la ganancia de calor al interior, así como las benéficas repercusiones energéticas y ambientales. A este respecto cabe mencionar que la reducción de la ganancia de calor en verano puede llegar a ser, en algunas regiones del país, hasta de 70%.

Esto permite indicar que, en virtud de que la disminución de la ganancia de calor incide de manera directa en un menor consumo de energía eléctrica de los equipos de enfriamiento, el uso extendido de las técnicas de control solar ocasionaría una importante disminución en la demanda y consumo de energía destinada a la climatización y, en consecuencia, una disminución en la quema de combustibles fósiles y en la emisión de CO_2 a la atmósfera.

Es conveniente que el reglamento de construcciones para la ciudad de La Paz, B.C.S. incluya entre sus prescripciones, que los ingenieros y arquitectos tomen en cuenta en el diseño de edificaciones los ángulos óptimos de protección solar calculados en este trabajo.

Como ya se mencionó, nuestro país presenta casi dos terceras partes de su territorio con características de clima cálido, por lo que el empleo de elementos de control solar en edificaciones debe ser una de las estrategias prioritarias. Aunque en algunos lugares se utilicen necesariamente equipos de climatización por tener clima cálido extremo, una porción considerable podría eliminarse si se aplican efectivamente las NOM's 008 y 020 ENER.

Cabe aclarar que en este trabajo se analizó una edificación de vivienda con el anteproyecto de NOM-020-ENER a pesar de que todavía no es publicado como norma oficial, no pasará mucho tiempo para que lo sea.

Es necesario considerar el control solar en la arquitectura como una vía, no de manera aislada sino en conjunción con otros sistemas pasivos de climatización, con el propósito de obtener edificaciones bioclimáticamente óptimas tanto para el ser humano como para el medio ambiente en el que vivimos.

Seguiremos difundiendo las ventajas del diseño bioclimático en congresos nacionales de Energía solar, así como en áreas interesadas en el confort térmico y en el ahorro de energía.

Confiamos en que los resultados del control solar presentados en este trabajo hayan puesto suficientemente de manifiesto la importancia benéfica que dicho control representa, tanto para proporcionar a los usuarios una vida confortable como para la economía del país, preservando los recursos naturales no renovables y mitigando el nocivo efecto invernadero sobre nuestro planeta.

Referencias Bibliográficas

Referencias bibliográficas

1. Al-Shareef, F. M., Oldham, D. J., Carter, D. J. (2001) "A computer model for predicting the daylight performance of complex parallel shading systems". *Building and Environment (Magazine)* N°36 pp. 605-618.
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (1997) *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Pp. 29.41-29.43 Atlanta, E.U.
3. Balwant, Singh Saini (1987) *Construcción en climas cálidos secos*. Editorial Limusa. México 214 pp.
4. Baltazar, Juan C., Rodríguez, Juan M. (1997) "Parasol V1.0 Programa de cómputo para diseño de protección solar". *Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía Solar*. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 106-109. Chihuahua, Chih., México.
5. Chitrarekha, Kabre (1999) "WINSHADE: A computer design tool for solar control". *Building and Environment*, Vol. 34. pp. 263- 274. Ed Pergamon.
6. Díaz, Rodolfo, Morillón, David (1999) "Comportamiento térmico de la vivienda de interés social en diferentes regiones climáticas del país". *XXIII Semana nacional de energía solar*. ANES. Morelia, Mich.
7. Fernández, A. (1995) "Análisis y evaluación de estrategias de diseño bioclimático para el estado de Baja California Sur" *XIX semana nacional de la energía solar*. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp. 219-223. La Paz, B.C.S., México.
8. García de Miranda, Enriqueta (1989) *Apuntes de Climatología*, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México 155 p. México.
9. Givoni, Barusch (1969) *Man, climate and architecture*, Applied Science publishers Ltd, Ripple Road, Barking, Essex, England, pp. 204-212.
10. Gómez Azpeitia, Gabriel (1989) "Grafisol, simulador solar para un diseño energéticamente racional". *Memorias de la XIII Semana Nacional de Energía Solar*. Asociación Nacional de Energía Solar pp. 139-143. Morelia, Mich., México.

11. Gómez Azpeitia, Gabriel (1991) "*Procedimiento para evaluar la eficiencia de los dispositivos de sombreado*". Memorias de la XV Semana Nacional de la Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp 200- 204, Zacatecas, Zac., México.
12. Hiller, Marion D. E., Beckman, William A., Mitchell, John W. (2000) "*TRNSHD – a program for shading and insolation calculations*". Building and Environment (Magazine) N° 35 pp. 633-644. Ed. Pergamon.
13. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (1983) *Bases para el diseño solar pasivo*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. pp 72-81. Madrid, España.
14. Kabre, Chitrarekha (1998) "*WINSHADE. A computer design tool for solar control*". Building and Environment (Magazine) N° 34 pp. 263-274.
15. Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay (1977) *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial Paraninfo, Madrid, España, 328 p.
16. Mazria, Edward (1985) *El libro de la energía solar pasiva*. Versión castellana de Rafael Serra Florensa Editorial Gustavo Gili 368 p. México
17. Mejía Domínguez, David y Morillón Gálvez, David (1999) "*Recomendaciones y estrategias bioclimáticas para el diseño urbano y arquitectónico en La Paz, B.C.S.: Metodología protección solar*". Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 109-112. Morelia, Mich., México.
18. Mejía, David, Morillón, David y Rodríguez, Luis (2001) "*Potencial estimado de ahorro y uso eficiente de energía en aires acondicionados mediante el control solar, en edificaciones*". XXI Seminario Nacional sobre el uso racional de la Energía Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C. México
19. Morillón, David (1993) "*Losa visera*". Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp. 165-168. Colima, Col., México.
20. Morillón, David (1993) *Bioclimática. Sistemas pasivos de climatización*. Universidad de Guadalajara. 148 pp. Guadalajara, Jalisco, México.
21. Morillón, J. R. y Morillón, David (1994) "*Helioarquitectura Tapatía*". Memorias de la XVIII Semana Nacional de Energía Solar

- Asociación Nacional de Energía Solar. Pp 186-190 Hermosillo, Son., México.
22. Morillón, J. R. y Morillón, David (1995) "*Recomendaciones para el diseño de protección solar en varias localidades del estado de Jalisco*". Memorias de la XIX Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp. 271-274. La Paz, B.C.S., México.
23. Morillón, David (1999) *Notas del Diplomado en Diseño bioclimático* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. CFE, FIDE, II UNAM.
24. Morillón, David, et al (2000 a). "*Potencial de ahorro de energía y beneficios ambientales por la sustitución de equipos de aire acondicionado doméstico de baja eficiencia por equipos de alta eficiencia en México*".
25. Morillón, David, et al, (2000). "*Estudio técnico-económico para conocer las perspectivas de sustitución de los actuales acondicionadores de aire, por los de alta eficiencia energética en el sector residencial*".
26. Olgyay, Víctor (1963) *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Traducción: Frontado, Josefina y Clavet, Luis. 1era versión en castellano. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España, 203 p.
27. Olgyay, Víctor y Olgyay, Aladar (1957) *Solar control and shading devices*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 199 p.
28. Pérez Valenzuela, Jesús B (1995) "*Guía para el control de asoleamiento en edificaciones*". Memorias de la XIX Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 253-256. La Paz, B.C.S., México.
29. Pérez V, Jesús B., et al (1999) "*Método simplificado para calcular ganancias directas en ventanas con protección solar*" Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp 113-119, Morelia, Mich., México.
30. Plasencia, Arturo, Monroy, Hugo. (1997) "*Proyecto de una comunidad de pescadores autónoma, bioclimática y ecológica "El Delgadito", B.C.S.*" Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp 100-105. Chihuahua, Chih., México.

Referencias bibliográficas

31. Plasencia, Arturo (2001) *"Gráfica Solar. Método constructivo y aplicaciones"*. Universidad Autónoma del Estado de México. 116 p. Toluca. Estado de México.
32. Quiros, Carlos (1998) *"Los transportadores de eficiencia en el sombreado como herramienta en el diseño de protecciones solares"*. Memorias del 1er simposio Venezolano de Confort térmico y comportamiento térmico de edificaciones. COTEDI 98. Universidad Central de Venezuela pp. 53-58 Caracas, Venezuela
33. Raeissi, S., Taheri, M (1998) *"Optimum overhang dimensios for energy saving"*. Building and Environment (Magazine) Vol 33, N°5, pp. 293-302.
34. Reyes, Raúl (1989) *Estrategias pasivas en el aprovechamiento de la energía solar aplicadas al diseño arquitectónico* Tesis doctoral Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Arquitectura. 369 p México, D.F.
35. Robles Gil, Sandra (1982) *Estudio geográfico económico del estado de Baja California Sur*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Geografía. México, D.F.
36. Rodríguez T., Juan (1989) *"La energía solar pasiva. Algunas aplicaciones prácticas en arquitectura"* Memorias de la XIV Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 144-149. Morelia, Mich , México.
37. Rodríguez T., Juan y Baltazar, J. (1994) *"Estudio de los elementos de protección solar de los edificios del centro histórico de Guanajuato"*. Memorias de la XVIII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 178-181. Hermosillo, Son., México.
38. Rodríguez T., Juan, Baltazar, J. y Cabrera, D. (1994) *"Determinación de gráficas de temperatura para el diseño de protección solar"*. Memorias de la XVIII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 191-194. Hermosillo, Son , México
39. Rodríguez, Manuel, et al, (2001) *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. Editorial Limusa, Universidad Autónoma Metropolitana 204 p. México.
40. Rodríguez, Manuel, et al, (2001) *"El control solar en la arquitectura"*. La revista solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Consejo XI. Número 42. pp 3-11 México.
41. Rudofsky, Bernard (1999) *Constructores Prodigiosos*. Editorial Árbol editorial. Cplombia. pp 295

Referencias bibliográficas

42. Salazar Trujillo, Jorge H (1998) "Solar performance and shadow behaviour in buildings. Case study with computer modelling of a building in Loranca, Spain" Building and Environment. Vol. 33, N°. 2-3, pp. 117-130 Published by Elsevier Science Ltd. Great Britain.
43. Sámano, Diego, Morillón, David, Muñiz, Ramón (1993) "La radiación solar y el efecto de la inercia térmica de los sistemas en la climatización de espacios" Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía solar. Asociación Nacional de Energía Solar. Pp. 160-164 Colima, Col, México
44. Saravia, Maricela y Morillón, David (1999) "Análisis de elementos pasivos de protección solar para contrarrestar o aprovechar las condiciones climáticas de El Salvador". Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar. pp. 101-108. Morelia, Mich., México.
45. Secretaría de Energía (2000) *Balance Nacional de Energía 1999*. Dirección general de Política y Desarrollo Energético. Secretaría de Energía. 101 p. México.
46. Secretaría de Energía (2001) Anteproyecto de *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2001 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios residenciales, hasta tres niveles*. Secretaría de Energía. México
47. Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976) *Atlas del agua de la República Mexicana*. Secretaría de Recursos Hidráulicos páginas 36, 158, 159 y 124- 133. México
48. Szokolay, S.V. (1980) *Environmental Science Handbook*, Lancaster, (England) The Construction Pres, 532 p.
49. Terrazas Pérez, Javier Alonso (2000) *Diseño bioclimático en Ciudad Juárez, Chih. Manual para arquitectos*. Tesis de maestría en Diseño Arquitectónico. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 117 páginas. México.

Indice de Ilustraciones

Índice de ilustraciones

Gráficas	Pág.
1.1. Consumo eléctrico por sector a escala nacional	12
1.2. Consumo eléctrico por sector en B.C.S.	13
3.1. Isotermas para la ciudad de La Paz, B.C.S.	39
3.2. Isohigras para la ciudad de La Paz, B.C.S.	41
3.3. Zona de confort a lo largo del año	45
4.1. Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada sur, ene-jun	62
4.2. Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada sur, jul-dic	62
4.3. Eficiencia partesol fachada sur, ene-jun	67
4.4. Eficiencia partesol fachada sur, jul-dic	67
5.1. Radiación sobre la horizontal, validación del método gráfico	75
5.2. Radiación en las diferentes superficies	76
5.3. Cálculo de la radiación incidente en ventanas protegidas con aleros	77
5.4. Cálculo de la radiación incidente en ventanas protegidas con partesoles	78
5.5. Cálculo de la radiación incidente con la protección de ambos elementos	79
5.6. Radiación con y sin protección solar en fachada norte	80
5.7. Radiación con y sin protección solar en fachada sur	80
5.8. Ganancia al interior por fachada norte	83
5.9. Ganancia al interior por fachada sur	83
5.10. Ganancia de calor en Wh/día durante el verano para La Paz, B.C.S.	89
5.11. Ganancia de calor al interior durante el invierno	90
R.1. Ganancias solares al interior en verano	91

R.2. Ganancias solares al interior en invierno	92
--	----

Figuras

I.1. El recorrido solar varía según la época del año	5
1.1. Regiones cálidas secas del mundo	12
2.1. Incidencia de la radiación solar en diferentes latitudes	19
2.2. Flujo de calor a través de los diferentes elementos arquitectónicos	20
2.3. Alero	22
2.4. Alero 0°	22
2.5. Alero 90°	22
2.6. Alero mayor de 0° y menor de 90°	23
2.7. Partesol	23
2.8. Partesol 0°	24
2.9. Partesol 90°	24
2.10. Partesol mayor de 0° y menor de 90°	24
2.11. Mascarillas de sombreado	25
2.12. Ejemplo de gráfica solar	25
2.13. Zona oscura requiere protección solar	26
2.14. Eficiencia del control solar	26
2.15. Ángulo óptimo alero, diferentes soluciones arquitectónicas	27
2.16. Ángulo óptimo partesol, diferentes soluciones arquitectónicas	27
2.17. Pórtico	28
2.18. Repisa	28
2.19. Persiana horizontal	28
2.20. Faldón	29

2.21. Pantalla	29
2.22. Pérgola	29
2.23. Toldo	29
2.24. Techo escudo	30
2.25. Partesol	30
2.26. Persiana vertical	31
2.27. Muro escudo	31
2.28. Marco	32
2.29. Celosía	32
2.30. Cambio orientación de ventana	33
2.31. Contraventanas	33
3.1. Ubicación geográfica de La Paz, Baja California Sur	35
3.2. Dirección del viento por época del año	42
3.3. Gráfica solar latitud 24 15°	44
3.4. Diagrama bioclimático de Olgyay para el mes de enero	47
3.5. Diagrama bioclimático de Olgyay para el mes de agosto	48
3.6. Diagrama psicrométrico de Givoni para el mes de enero	49
3.7. Diagrama psicrométrico de Givoni para el mes de agosto	50
3.8. Diagrama de isorrequerimientos	51
4.1. Mascarilla de sombreado	56
4.2. Semestre enero-junio	56
4.3. Semestre julio-diciembre	56
4.4. Gráfica solar para el semestre enero-junio	57
4.5. Gráfica solar para el semestre julio diciembre	58
4.6. Mascarillas de sombreado sobre gráfica solar a cada 10°	58
4.7. Alzado de los ángulos óptimos del alero, para diferentes orientaciones	63

4.8. Mascarilla de sombreado para partesoles a cada 10°	64
4.9. Alzado de los ángulos óptimos de partesoles para diferentes orientaciones	68
4.10. Planta de los ángulos óptimos de los partesoles, para diferentes orientaciones	68
4.11. Mascarilla que representa los ángulos combinados de control solar para la fachada sur	68
5.1. Mascarilla de radiación.	71
5.2. Cálculo de radiación en superficie vertical (fachada sur)	71
5.3. Cálculo de la radiación solar en superficies horizontales	72
5.4. Fachada principal (sur)	81
5.5. Corte hacia la fachada posterior (norte)	81
5.6. Vivienda tipo U1-2R-50 (Planta)	82
5.7. Agrupación de estados por rangos de latitud y ubicación de la vivienda en cada grupo	84

Tablas

3.1. Normales Climatológicas	36
3.2. Temperaturas horarias (°C)	38
3.3. Humedades horarias (%)	40
3.4. Dirección, frecuencia y fuerza del viento durante el año.	42
3.5. Radiación directa horaria en W/m ²	43
3.6. Termopreferendum y zona de confort para cada mes en La Paz, B.C.S.	45
4.1. Número de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre ene-jun	57
4.2. Número de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre jul-dic	57
4.3. Cálculo de la eficiencia de aleros en fachada sur, semestre ene-jun	60
4.4. Cálculo de la eficiencia de aleros en la fachada sur, semestre jul-dic	61
4.5. Ángulos óptimos de aleros, para diversas orientaciones	63
4.6. Cálculo de la eficiencia de los partesoles en la fachada sur, semestre ene-jun	65

4.7. Cálculo de la eficiencia de los partesoles en la fachada sur, semestre jul-dic	66
4.8. Ángulos óptimos de los partesoles, en diferentes orientaciones	67
5.1. Radiación solar en las diferentes orientaciones verticales, calculada según el método gráfico	73
5.2. Radiación solar sobre la horizontal calculada según el método gráfico	74
5.3. Grupos de estados en rangos de latitud	85
5.4. Disminución de ganancias con el empleo del control solar	85
5.5. N° de viviendas en las diversas latitudes	85
5.6. Ganancia de calor sin control solar	86
5.7. Disminución de la ganancia de calor por el uso del control solar	86
5.8. kW ahorrados y Toneladas de CO ₂ evitadas, para el año 2002	87
5.9. kW ahorrados y Ton de CO ₂ evitadas, para el año 2010	87
5.10. Dimensiones de ventanas y elementos sombreadores	91
5.11. Relación en aleros y partesoles	91
5.12. Factores de corrección	91
R.1. Porcentaje de ganancia disminuido con el empleo del control solar según el anteproyecto de NOM-020	93

Fotografías

I.1. Edificación China con control solar exterior	6
I.2. Casa Tarahumara	6
2.1, 2.2. Aleros	28
2.3, 2.4. Partesol	30
2.5. Combinación de ambos elementos de control solar	31