



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**POTENCIAL ESTIMADO DE AHORRO DE ENERGÍA
POR LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE
CONTROL SOLAR EN VIVIENDAS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

NORMAN JOSÉ RAMÍREZ FLORES

TUTOR:

DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ



2013

ÍNDICE

ABSTRACT	1
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	6
Planteamiento del problema	9
Objetivos y alcances	10
Hipótesis	11
Estructura del documento	11
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	13
Diseño del control solar en el mundo	13
Diseño del control solar en México	16
Normatividad referente a la ganancia de calor en la vivienda	19
Normas que regulan la construcción de aleros y partesoles	19
Conclusiones de las revisiones bibliográficas	20
CAPÍTULO 2. CONTROL SOLAR EN EDIFICIOS	21
Conceptos básicos	21
Sistemas de control solar pasivos	21
Sistemas de control solar activos	26
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE PROTECCIONES DE CONTROL SOLAR ACTIVOS	29
I. Identificación de necesidades de protección solar	29
II. Determinación de los ángulos de protección solar	37
III. Obtención de datos para programación del sistema	49
Eficiencia en el sistema	59
Potencial de ahorro térmico estimado	61
Configuración propuesta de componentes electrónicos	65
Algoritmo de programación	70
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO: CIUDAD JUÁREZ	71
I. Identificación de necesidades de protección solar	71
II. Determinación de los ángulos de protección solar	76
III. Obtención de datos para programación del sistema	80

Eficiencia en el sistema pasivo para los aleros	82
Eficiencias en el sistema pasivo para los partesoles	85
Comparación de eficiencias entre ambos sistemas	86
Potencial de ahorro estimado	87
CAPÍTULO 5. IMPACTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL POR LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL SOLAR EN CIUDAD JUÁREZ	103
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	107
REFERENCIAS	110

ABSTRACT

Control systems of temperature, humidity and ventilation into homes represent, in many areas of the country, a fairly high percentage of total energy consumption. For many years, many homes have been built with a design that does not consider the behavior of solar radiation throughout the year and every hour of the day. Although not in all cases has been for a lack of foresight, in some others might have been due to financial constraints, geographical location or even building restrictions by local government.

Through non-opaque areas, such as window, is performed most of the heat exchange between the inner housing and the outside environment. This occurs because the materials which constitute them have a reduced thermal insulation, and also have a reduced thickness relative to the rest of the surface which forms the envelope of the building.

From the architecture, various methods have been proposed to design solar protection elements, also called solar control, as the eaves and sun baffle. The angle at which solar radiation incident on the surface of the window is based on the day and time is being observed, and the window itself. So, there will be times when the solar control window protects all solar radiation, and there will be times when some of that radiation scope to leak into building.

There are two basic types of solar control: Passive Control and Active Control. The fundamental difference between the two is that the active control involves elements that require the use of energy, usually electrical, for correct operation, and passive control consists of immobile elements, which are often part of the building.

For the design of solar control, should be considered, mainly, the following variables: The longitude, latitude and altitude of the study location; and orientation, size and geometry of the windows. From these data, an optimal design is constructed through which is permitted the entry of solar radiation in cold times; but also, in hot weather, it is established a sun protection, to prevent overheating within the home. In both cases, it is intended that the exterior natural lighting advantage to generate more state comfort in residents and reduced energy consumption from artificial light sources.

Then, with passive solar control there will be hours on day on which the whole window is protect from solar radiation, but also there will be hours when it is not. Which lead us to assume that there is an efficiency to calculate for solar control.

Now, if we want to get a solar control which covers all solar radiation, one of the best ways to achieve it is by building a solar control with mobile elements that are moved and oriented according to the Sun movement in each hour of the day and every day of the year. On this basis is constructed this work.

The basic content of this work is the proposal of a methodology for the design of an active solar control, generated from the fundamentals that constitute the design of solar control for passive elements. Once the design is concluded, it is exposed the way to estimate the energy saving, supposing the implementation. For this purpose, a comparison is made between the total heat gain of the projected building and the total heat gain in a reference building. The latter is considered with the same orientation, the same boundary conditions and the same dimensions in floor and elevation of the projected building; and additionally it is considered a defined proportion between the opaque surface and the transparent to each of the elements of the envelope.

RESUMEN

Los sistemas de control de temperatura, humedad y ventilación al interior de los hogares representan, de acuerdo con la CONUEE¹, aproximadamente el 44%² de la energía total consumida en el hogar, para todos aquellos que cuentan con aire acondicionado.

Durante muchos años, se han construido hogares cuyo diseño no contempla el comportamiento de la radiación solar a lo largo del año, y en cada hora del día. Si bien no en todos los casos ha sido por una falta de previsión, en algunos otros pudo haber sido por limitaciones económicas, limitaciones de material, situación geográfica o incluso restricciones de construcción por parte del gobierno local.

A través de las superficies no opacas, como la ventana, se lleva a cabo la mayor parte de intercambio de calor entre el interior del edificio y el medio exterior. Esto debido a la baja capacidad de aislamiento térmico que tienen los materiales que las constituyen y su reducido espesor, en relación al resto de la superficie que conforma la envolvente de la vivienda.

Desde la Arquitectura, se han planteado diversos métodos para diseñar elementos de protección solar, también llamados control solar, como el rematamiento y el partesol. El ángulo en el que la radiación solar incide sobre la superficie de la ventana está en función de la latitud del lugar, del día y la hora en que se esté observando, y de la orientación de la ventana misma. Así pues, habrá momentos en que el control solar proteja a la ventana de la totalidad de la radiación solar, y también habrá momentos en que parte de esa radiación alcance a filtrarse hacia el interior del edificio.

Existen dos tipos básicos de control solar: Control pasivo y Control activo. La diferencia fundamental, entre uno y otro, radica en que el control activo involucra elementos que requieren el uso de energía, generalmente eléctrica, para su correcto funcionamiento y el control pasivo está constituido por elementos inmóviles, que generalmente forman parte de la edificación misma.

Para el diseño del control solar, se deben considerar, principalmente, las siguientes variables: la longitud, latitud y altura de la ubicación de la vivienda en estudio y la orientación, magnitud y geometría de las ventanas. A partir de estos datos, se construye un diseño energéticamente eficiente a través del cual se permita la entrada de la radiación solar en horas de frío; pero que también, en tiempos de calor, se establezca una protección de los rayos solares, para evitar el sobrecalentamiento al interior del hogar. En ambos casos, se pretende que la

¹ CONUEE, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, de la Secretaría de Energía.

² Aparatos y espacios que consumen más energía,

http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos, CONUEE, Agosto 2013

iluminación natural del exterior se aproveche, para generar un mayor estado de confort térmico en los habitantes y una reducción del consumo energético proveniente de las fuentes no renovables.

Entonces, con un control solar pasivo habrá horas del día en que la ventana esté protegida del total de la radiación solar, pero habrá momentos en que no. Esto nos lleva a suponer que existe un porcentaje de eficiencia a calcular para la protección solar.

Ahora bien, si quisiéramos llegar a la obtención de un control solar en el que se cubra la totalidad de la radiación solar, una de las mejores formas de alcanzarlo es construyendo un control solar con elementos móviles, en los cuales se programe un movimiento de acuerdo a la trayectoria del Sol en cada hora del día y en cada día del año. Sobre esta base está construido este trabajo.

El contenido fundamental de este trabajo es el planteamiento de una metodología para el diseño de un control solar activo. Para ello, se propone incluir las primeras etapas que constituyen el diseño del control solar para elementos pasivos. Esto es, partir de la identificación de las necesidades mediante el diagrama de isorrequerimientos y las gráficas solares; y entonces obtener los datos que conformarán la programación del sistema.

Tales datos describen la trayectoria angular que deben seguir las protecciones solares, ya sean aleros y/o partesoles, para cada periodo del día y en cada mes del año.

Una vez concluido el diseño, se expone la forma en que puede estimarse el ahorro de energía suponiendo su implementación y la localidad en estudio. Este cálculo básicamente consiste en la comparación proporcional de la suma de ganancias que se adquiere con la implementación del control solar y sin su implementación.

En este trabajo, se ha utilizado como referencia una vivienda básica de interés social ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua. En la cual se calculó el ahorro energético que implicaría la eliminación de la ganancia de calor adquirida por radiación, a partir de la implementación del control solar. Así, numéricamente, se obtuvo un 21.81% de ahorro.

Por otro lado, se encontró que en promedio se ahorrarían 373.6 kWh cada año en una sola vivienda, lo cual equivaldría a la disminución en la emisión de CO₂ en 189.9 kg, cada año por vivienda. Así también, se hizo una extrapolación de los datos para conocer las implicaciones que tendría la aplicación de este control en el municipio entero de Juárez, Chihuahua, de acuerdo al número actual de viviendas. Y se calculó que habría un ahorro de 128.1 MWh y se disminuiría la emisión de CO₂ en 64.05 mil toneladas, cada año.

Por tanto, la implementación de los sistemas de control solar propaga una disminución considerable en el consumo de energía eléctrica, lo que a su vez repercute en el uso de combustibles fósiles para su producción.

INTRODUCCIÓN

Existen muchas organizaciones e instituciones que han tomado responsabilidad ante este problema. Se han llevado a cabo, en muchas partes del mundo, diversas campañas que reúnen a empresas, entidades gubernamentales, universidades, centros de investigación y, desde luego, asociaciones civiles, para trabajar proactivamente en favor de la conservación del medio ambiente. Siendo promotores del uso responsable de los recursos naturales y fomentando prácticas que impliquen un ahorro energético y la reducción de partículas contaminantes al aire libre.

Así pues, una gran cantidad de profesionistas, investigadores, profesores e incluso estudiantes, desde diversas áreas del conocimiento, han proporcionado considerables aportaciones en relación a la conservación del medio ambiente. En el caso de la ingeniería, desde luego, no ha sido la excepción. Cada vez son más los ingenieros que dedican su quehacer profesional en el desarrollo de tecnologías sustentables y menos contaminantes. Incluso muchas empresas poco a poco están cediendo espacios para incorporar nuevas técnicas a sus procesos, con la finalidad de ser más generosos con el medio ambiente.

Aún dentro de cada rama de la ingeniería se diversifican las posibilidades de estudio. Se puede elegir dentro de un gran conjunto de sistemas existentes y con la aplicación de numerosos principios científicos. Cada profesionista, ligado al tema, logrará desarrollar una aportación significativa de acuerdo con su propia experiencia, su conocimiento e incluso la inclinación de estudio que tenga en particular.

Es por ello que en el presente trabajo se busca realizar una aportación concreta para el cuidado del medio ambiente. Con la intención de aprovechar las herramientas y conocimiento propio adquirido a través de la formación universitaria, para llegar a una aportación muy puntual. Así que, como primer punto se ha elegido un objeto de estudio, y después se ha planteado un objetivo claro y factible.

Como principio de cuentas, se ha elegido trabajar en uno de los lugares donde se produce la mayor contaminación en el mundo: la vivienda o, dicho propiamente, la edificación para uso habitacional.

Aunque de primer momento no pareciera así, en el hogar se propicia la quema de una enorme cantidad de toneladas de combustibles fósiles. Esto a través del uso de electrodomésticos, los cuales requieren del suministro de energía eléctrica para funcionar. Y es que sucede que un porcentaje alto de la generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante procesos donde se quema combustóleo, diésel, carbón y gas natural, lo cual resulta inmensamente dañino al medio natural.

Esto aunado al creciente número de productos electrodomésticos que se incorporan cada año al mercado.

Los electrodomésticos que conforman la mayor parte del consumo de energía eléctrica en el hogar son los que corresponden a la climatización del ambiente, a la refrigeración y a la iluminación. Aparatos electrodomésticos tales como: el acondicionador de aire, el calefactor, el calentador de agua, el purificador de aire, los ventiladores, el refrigerador y los sistemas de iluminación. Estos aparatos generan un alto consumo de energía, no sólo por la alta demanda de potencia que requieren para su funcionamiento, sino también por el extenso tiempo de uso al que generalmente son sometidos.

En el área de la Arquitectura, muchos investigadores se han interesado en realizar estudios que brinden herramientas en el diseño de edificaciones, sea cual sea su uso, en conformidad con los requerimientos de climatización e iluminación, para brindar a sus habitantes un estado de confort. La situación es compleja, ya que son muchos los factores que intervienen en la determinación de la temperatura, la calidad del aire, la ventilación y la iluminación, simultáneamente; además de que las condiciones del ambiente exterior pueden variar de una estación del año a otra, e incluso de un momento a otro, y de forma radical.

Se han contemplado la selección y uso adecuado de los materiales de construcción para aislar el clima exterior del clima interior, se ha estudiado la posición y orientación que deben tener cada uno de los elementos de la edificación, en especial de las ventanas, se han estudiado los recubrimientos y pinturas, se han determinado recomendaciones respecto a las dimensiones que deben tener los espacios, se ha analizado la trayectoria del Sol para poder determinar el curso que debe seguir la luz natural a lo largo del año, entre muchas otras cosas.

En estos estudios, uno de los elementos con mayor relevancia, para la óptima climatización de los espacios, ha sido la ventana. La importancia de la ventana radica en que es un medio a través del cual existe intercambio directo de aire y calor, entre el interior y el exterior de la vivienda. Así mismo, es una de las entradas de luz natural más importantes.

La ventana, entonces, puede llegar a ser un elemento que favorezca una mejor ambientación; pero también podría llegar a propiciar la generación de condiciones indeseables. Por ejemplo, en cierta hora del día y para un determinado día del año, una ventana puede favorecer el calentamiento de un ambiente frío y también admitir la entrada de luz, lo que repercute en la disminución del consumo energético por calefacción e iluminación. Pero de forma opuesta, en otra estación del año, a través de la ventana se podría absorber demasiado calor del exterior, cuando lo que se requiere, en realidad, es protección del mismo.

Los especialistas en el tema han desarrollado una gran cantidad de criterios que encauzan el diseño de una edificación para la correcta ubicación y orientación de ventanas, esto a través de un análisis de la trayectoria solar en las diferentes épocas del año. Desde luego que también existen variaciones en la metodología de acuerdo con cada clima y ubicación geográfica en el mundo.

Se trata de un trabajo integral, en donde los arquitectos conjugan diversos elementos y factores como lo son el aprovechamiento del espacio, la estética, la interacción con el espacio exterior, la búsqueda del confort, las restricciones de construcción, etc., para así edificar una obra que cumpla con la mayor parte posible de los requerimientos, y a partir de los recursos disponibles.

Adicional al estudio de la posición y orientación de las ventanas, existen métodos de diseño para la adecuada construcción de elementos de protección solar. Estos elementos básicamente están constituidos de una superficie sólida y opaca, la cual protege a los espacios interiores de la radiación solar que se dirige directamente hacia la ventana. En el diseño se pretende que los elementos de protección tengan la orientación y la magnitud adecuadas, de acuerdo con el ángulo de incidencia de la radiación solar, y de acuerdo a la ubicación en que se encuentre la ventana.

A este tipo de protecciones se les conoce como *control solar pasivo*. Se les atribuye el adjetivo “pasivo” debido a su propiedad de ser inmóviles y de no requerir del suministro de energía eléctrica para su funcionamiento, lo cual se considera como una ventaja. El inconveniente es que este tipo de control no puede responder a las variaciones del ambiente para modificar su condición. Con lo cual se tiene una eficiencia limitada de protección.

En el presente trabajo se retoman los principios y aportaciones que dan lugar al diseño del control solar pasivo, para el planteamiento de una metodología de diseño de un control solar activo.

Cuando se habla de *elementos activos*, para este caso, se hace referencia a componentes sobre los cuales se tiene la capacidad de modificar su posición y/u orientación; pero que, para tal propósito, se requiere del suministro de energía para su correcto funcionamiento, pero se procura también alcanzar una significativa eficiencia respecto a la que se alcanza con el control pasivo, lo cual justifique su implementación.

La diferenciación de los resultados con respecto a la aplicación de un control solar pasivo, sería que con el control activo se podría cubrir la totalidad de requerimientos de protección solar, ya sea que se requiera o no la filtración de radiación solar, para cada determinado momento del día, y de acuerdo con los requerimientos de confort.

Planteamiento del problema

Cuando la radiación solar incide sobre una hoja de vidrio suceden varios fenómenos característicos. Una parte de la radiación solar es reflejada instantáneamente, de manera que no atraviesa el vidrio ni lo calienta. Otra parte de la radiación solar penetra en el vidrio, pero es absorbida internamente, propiciando su calentamiento. Finalmente, la parte de la radiación que no es reflejada ni absorbida atraviesa el vidrio y es transmitida directamente al espacio interior.

La radiación solar no sólo es reflejada por la superficie exterior del vidrio. La superficie interior también refleja una parte de la radiación que logra atravesarlo (aquella que no ha sido reflejada por la superficie exterior ni absorbida), dando lugar a una serie de inter-reflexiones. En cada proceso de inter-reflexiones, una parte de la radiación es absorbida. Es decir, la energía térmica generada por los procesos de absorción no permanece en el vidrio, sino que posteriormente es re-irradiada. Este proceso se da en ambas direcciones, es decir, hacia el exterior y el interior, con una proporción que dependerá de las características específicas del vidrio.

Por otro lado, la radiación solar que llega a la superficie terrestre está conformada por diversos rangos del espectro electromagnético. Y los vidrios suelen responder de distinta manera a cada uno de esos rangos. Por ejemplo, permiten la transmisión de las longitudes de onda de la porción ultravioleta y de la porción visible.

Es por esto que la ventana es uno de los elementos a través de los cuales existe la mayor cantidad de intercambio de calor entre el interior de la vivienda y el medio exterior. Esto puede cambiar de acuerdo con las condiciones de cada edificación, pero generalmente es así. Por tanto, la ventana tiene diversas funciones, entre las que destacan: ventilación, iluminación e incluso decoración. Dependiendo su diseño y/o su instalación se pueden llegar a generar consecuencias deseables o indeseables. En el mejor de los casos, una ventana proporcionaría una climatización confortable, además de permitir la filtración de luz natural; y eso reduciría considerablemente gastos por consumo eléctrico. Pero también podría suceder lo opuesto, que a través de la ventana se filtrara demasiada radiación solar, propiciando niveles temperatura y humedad fuera de los rangos de confort.

También puede suceder que una ventana favorezca una correcta climatización de espacios cerrados durante cierta hora del día; pero que la desfavorezca en otra hora posterior. Y es que existen diferentes condiciones climáticas mes tras mes. No se tienen los mismos requerimientos de protección solar para cada día del año.

Uno de los mayores factores que deben tomarse en cuenta, para un correcto diseño de construcción, es la radiación solar. Éste es un componente determinante para el comportamiento térmico de una localidad. Se debe estudiar el ángulo de incidencia sobre la superficie, el cual varía en cada día del año; las horas de radiación, los rangos de confort y los datos de temperatura horaria, principalmente.

Si bien es cierto que hoy en día se están construyendo cada vez más hogares con un diseño integral, de acuerdo con los requerimientos bioclimáticos. También es cierto que aún existe una gran cantidad de viviendas que no se edificaron desde un principio con base en estos fundamentos, y sus habitantes siguen sufriendo las consecuencias de tal error. El enfoque de este estudio se dirige a ambos casos, pero principalmente al segundo.

En conclusión, el problema que se pretende tratar en este trabajo es el intercambio indeseado de calor que se genera a través de las ventanas.

Desde la Arquitectura, como se menciona en los antecedentes, ya se han planteado diversas soluciones a este problema, entre las que destacan las metodologías para la construcción de aleros y partesoles sobre las ventanas. Para el cálculo de sus dimensiones se toma en cuenta la ubicación geográfica (latitud), la orientación de las ventanas, los rangos de confort y un registro de datos temperaturas horarias para cada mes del año.

La cuestión es que, por tratarse de elementos pasivos, no se puede llegar a cubrir el cien por ciento de los requerimientos de protección solar, por la sencilla razón de que un elemento pasivo no modifica su posición y/u orientación, por tanto, el diseñador busca, a través de los cálculos, definir las dimensiones que brindan mejor ahorro energético.

Objetivos y alcances

El objetivo que en este trabajo se presenta consiste en la definición de una metodología para el diseño de elementos de control solar activos, como una manera de mejorar la eficiencia de los elementos pasivos.

El lector interesado en el tema encontrará aquí una guía para determinar la posición angular necesaria en un partesol y/o en un alero automáticos, para cada hora del día, de acuerdo con el mes en curso, y también de acuerdo con las dimensiones que se establezcan para estos componentes. Lo cual sentará las bases del diseño para la construcción del control solar activo.

En este estudio no se incluye el planteamiento de los materiales, herramientas y procedimientos necesarios para la construcción del prototipo, lo cual bien podría utilizarse como el planteamiento de problema de un trabajo adicional a éste.

Finalmente se presenta una serie de cálculos correspondientes a la estimación del beneficio térmico, energético y ambiental que tendrá la aplicación del control solar activo en una vivienda, de acuerdo con las dimensiones de cada uno de los elementos de su envolvente y de acuerdo con los materiales que le constituyen.

Hipótesis

La implementación de elementos activos de protección solar reduce de forma considerable la ganancia total de calor que se transmite hacia el interior de un edificio, ya que se protege a su envolvente de la radiación. Esto, a su vez, repercute en la disminución del consumo energético que en una vivienda se requiere para disipar el calor. Y, de forma indirecta, se mitiga la utilización de combustibles fósiles, que al quemarse producen enormes cantidades de CO₂; y así también se promueve la conservación de los recursos no renovables.

Estructura del documento

En el primer capítulo se describe brevemente una recopilación de trabajos e investigaciones que anteceden al presente escrito, desde que se inició formalmente, en el ámbito de la investigación, el concepto de Diseño Bioclimático, haciendo hincapié en aquellos estudios que fueron desarrollados en México. También se incluye una reseña de ciertos apartados en algunas normas, vigentes en el país, que establecen reglas de construcción referentes al tema y que plantean un límite permitido en la cantidad de calor adquirido hacia el interior de los edificios. Finalmente, se incluye una breve descripción de algunos elementos de control solar activos, existentes en el mercado.

En el segundo capítulo, se explican algunos conceptos y fundamentos básicos ligados al tema del control solar, con la finalidad de introducir en el contenido al lector que no está familiarizado con dichos términos.

Posteriormente, en el tercer capítulo, se expone la metodología propuesta para el diseño de elementos de protección solar activos. Primero, se explica cómo obtener los requerimientos del lugar en estudio. Segundo, se aplican las herramientas de diseño. Tercero, se calculan los ángulos de protección requeridos para cada hora del día, y su correspondencia con la posición angular de la protección. Además, se

presenta un ejemplo de configuración de componentes electrónicos que pudieran constituir físicamente el control. Asimismo, se expone un algoritmo de programación que demuestra la sencillez del sistema, a partir de la implementación de la metodología aquí expuesta. También, se presenta un método para estimar el potencial de ahorro energético, a partir de la aplicación del control solar, en base al cálculo de la ganancia de calor por radiación y por conducción.

En el capítulo cuatro, se presenta un caso de estudio en Ciudad Juárez, con la finalidad de poder explicar con mayor claridad y detalle el proceso de diseño. Se escogió esta localidad por tener un clima altamente extremo, donde los requerimientos de climatización pueden variar drásticamente, incluso en un mismo día. También se estima el potencial de ahorro energético para una vivienda de interés social en la localidad en estudio, Ciudad Juárez, a partir de la implementación del control solar. Finalmente, se hace una extrapolación del ahorro energético estimado en todo el municipio de Juárez a partir de algunos datos estadísticos de población en tal localidad. Asimismo, se calculan los posibles beneficios en términos de consumo eléctrico y explotación de combustibles fósiles.

En el capítulo cinco, se hace una reflexión de los posibles beneficios que se generaría en el caso de que se implementara el control solar de forma generalizada, a partir de los resultados que se obtuvieron en el capítulo anterior. Asimismo, se comentan algunas ventajas y desventajas que pudieran presentarse con el uso de la idea propuesta.

Finalmente, se enlistan las referencias bibliográficas que se utilizaron para la escritura de este trabajo.

1. ANTECEDENTES

A continuación se presenta una breve descripción de diversos estudios que al día de hoy se han realizado, referentes al tema de *Diseño de control solar*. La mayoría de ellos están ligados al diseño arquitectónico. Posteriormente se hace referencia a algunas publicaciones en donde se analiza el consumo energético originado en los hogares derivado del uso de electrodomésticos, en especial de los que se usan con fines de iluminación y climatización. Finalmente se hace alusión de algunas normas de diseño y construcción, vigentes en el país, a través de las cuales se emiten recomendaciones y criterios para determinar la eficiencia energética de cada diseño en particular.

A través de este capítulo, no se pretende profundizar en los temas en cuestión, sino aportar un resumen que ayude al lector a ponerse al día respecto a lo que ya se ha hecho y estudiado hasta ahora. También se intenta sentar las bases de lo que en adelante se irá explicando.

Diseño de control solar en el mundo

Si bien, a lo largo de muchos años, se tenía consciencia de la importancia que tiene el diseño arquitectónico para la climatización de espacios cerrados, no fue sino hasta los estudios realizados por los hermanos Víctor y Aladar Olgay que se despertó el interés por establecer una metodología práctica para el diseño de elementos de protección solar. Sus escritos planteaban ideas totalmente diferentes a lo que en su tiempo se estaba explorando. Así pues, los hermanos Olgay se convirtieron en pioneros en el área en cuestión.

Escribieron diversas publicaciones relativas al tema, tales como: *“The temperature house”* (1951), *“Bioclimatic Approach to Architecture”*, *“Solar control and orientation to meet bioclimatical requirements”* (1954), *“Adaptation of climate data house design”* (1954), *“Solar – Air orientation, Environment and building shape”* (1954) y *“Solar control an shaiding device”* (1957).

Olgay, *et al*, (1957) definieron una metodología para el diseño de protecciones de control solar (aleros y partesoles). El cálculo se realiza con base en un registro de temperaturas para cada mes del año y en cada hora del día (llamado también datos de temperatura horaria) y con base en la temperatura de confort definida para la ubicación geográfica en estudio. En el proceso se busca definir cuáles son los periodos de sombra necesarios; es decir, se determina en qué hora del día se requiere protección y en qué hora no, para cada mes del año. A partir de ahí, se establecen las magnitudes óptimas que deben tener los aleros y los partesoles

para poder cumplir con la mayor parte de requerimientos, de acuerdo con lo que se obtuvo en los cálculos.

Givoni (1976), algunos años más tarde, retoma gran parte del trabajo realizado por Olgay, pero incorporó algunas consideraciones adicionales. Aseveró que es importante determinar los días y las horas en que se requiere el control solar, de acuerdo con la orientación en la que se encuentren los muros de las ventanas y de acuerdo con el recorrido del Sol en la latitud correspondiente. Además, añadió que debe considerarse la entrada de la radiación solar durante lapsos de condiciones de frío. Es decir, no sólo proteger un espacio de la radiación solar para disminuir la ganancia de calor, sino también ayudar a que un espacio se caliente cuando así se requiera.

Un año más tarde, Konigsberger (1977), *et al*, expusieron una metodología para diseñar elementos de protección solar, considerando los periodos horarios con calor excesivo ilustrados en la gráfica estereográfica solar. En su estudio, añaden un ejemplo para esclarecer la aplicación, haciendo ajustes a una propuesta inicial para conseguir las protecciones apropiadas, sólo con base en el número de horas en que se requiere protección.

Posteriormente, Mazria (1983) presentó un método para poder definir de forma gráfica la obstrucción del Sol en superficies transparentes por medio de elementos de protección, para lo cual empleó un indicador de sombra que se sobrepone a una gráfica solar cilíndrica que corresponde a la latitud donde se lleva a cabo el estudio. De esta manera, se identifican las horas en las que se requieren las obstrucciones sobre las ventanas. Él indicó sólo el perfil de sombra para protecciones horizontales, verticales y su combinación con 50 y 100% de sombra.

Boubekri M., *et al*, (1991) analizaron el comportamiento térmico en los espacios interiores de los edificios, en términos del asoleamiento y los elementos pasivos de protección solar. Investigaron el impacto que tiene el tamaño de la ventana, y los diferentes niveles de penetración de la radiación solar, en la respuesta emocional de los ocupantes y su grado emocional. A diferencia de estudios anteriores, la penetración de la luz solar fue medida en términos de las áreas iluminadas por el Sol, y no en términos de la duración. El estudio fue realizado en un cuarto de oficina de tamaño regular. Se encontró que el tamaño de la ventana afectó significativamente el estado emocional del ocupante o el grado de satisfacción. La penetración de luz solar afectó significativamente la sensación de relajación cuando el observador estaba sentado al lado de la ventana y la relación tenía forma de U invertida. El estudio hace hincapié de esta nueva forma de evaluar la penetración de la luz solar, en términos de las manchas solares al interior de la habitación y su importancia como un atributo ambiental significativo, así como los parámetros de diseño que deben tenerse en cuenta durante el diseño de las ventanas de asoleamiento.

Aliciems, *et al*, (1997) realizaron un estudio en el que examinan los fundamentos físicos y fisiológicos que pueden influir en el establecimiento de las condiciones y rangos de confort térmico al interior de un edificio, y algunas aplicaciones arquitectónicas prácticas para lograrlos. Argumentan que una condición de confort para el bienestar humano, en términos de productividad y de salud, debe ser el logro de un equilibrio armonioso entre la reducción al mínimo de las respuestas fisiológicas y la maximización de la climatización, siendo necesario crear condiciones estimulantes, sin causar efectos nocivos a los ocupantes.

Iftikhar A. Raja, *et al*, (2001) estudiaron el confort térmico que produce el control de la ventilación natural en los edificios. El estudio se hizo en edificios de oficina en Oxford y Aberdeen, Reino Unido. Los datos fueron analizados para explorar qué efectos produce la temperatura del exterior en la temperatura del interior y cómo afecta en el uso de controles ambientales manuales en pleno verano (junio – agosto). La proporción de sujetos, usando un control, tuvo relación con la temperatura al interior y al exterior, para así determinar el tamaño del efecto. Los resultados sugieren que el uso de controles está también relacionado con la sensación térmica y su uso apropiado es una parte significativa del comportamiento adaptativo para modificar las condiciones térmicas al interior.

Sebastian Herkel, Ulla Knap, Jens Pfafferott (2005), presentaron los resultados de un estudio de campo del control manual de ventanas, lo cual se observó en 21 oficinas individuales en el edificio del Instituto Fraunhofer, Alemania, a partir de julio de 2002 y hasta julio de 2003. El estatus de la ventana, la ocupación, las condiciones climáticas del interior y del exterior fueron medidas cada minuto. El análisis del comportamiento del usuario revela una estrecha relación entre el porcentaje de ventanas abiertas y la época del año, la temperatura exterior y los patrones de ocupación en la edificación. La llegada de personas al interior de una oficina está ampliamente ligado a la apertura de ventanas. Para efectos de la presente tesis, esto nos lleva a reflexionar en la importancia de mantener los espacios ventilados, pero con una simultánea protección ante la radiación solar.

Matic Dubravka (2010) estudió los elementos y estrategias climáticas de diseño, los efectos térmicos en el espacio interior del edificio como consecuencia de estrategias determinadas, es decir, las demandas energéticas. Buscando la efectividad de sistemas pasivos de calefacción, se encontró la necesidad real para la aplicación de los sistemas activos, en el mismo tiempo valorando sus exigencias para energía primaria.

Cañas Martín, *et al* (2011), desarrollaron un estudio en el que plantean las consideraciones pertinentes que ayudarían a implementar los principios de control solar pasivo, desarrollados por Olgay y Givoni, en zonas rurales. En su trabajo, estimaron un bajo costo y la adaptación de una metodología de acuerdo con las necesidades inherentes para tales zonas.

Bellia (2013) analizó la influencia de los dispositivos de protección solar exterior de las necesidades energéticas de un edificio de oficinas con aire acondicionado. La evaluación se llevó a cabo durante todo el año, mediante el uso de un código de simulación de energía del edificio. Se evaluó demanda de energía de los principales sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación y el ahorro de energía con relación al uso de dispositivos de protección solar, como una función del clima, las características geométricas, la transmitancia térmica de la envolvente, y la orientación del edificio. En sus resultados, exponen que se genera mayor eficiencia térmica en el verano.

Zambrano (2013) analizó distintos sistemas fijos exteriores de control solar con el objetivo de comparar su desempeño tanto lumínico, como de ganancia de calor. En su trabajo describe la relación de la protección solar, el control solar y la iluminación natural. Así pues, se expone cómo impactan las protecciones solares en el confort visual en latitudes cercanos al trópico, qué diferencias existen entre los distintos elementos de control solar respecto a la iluminación natural y la incidencia de la radiación solar, y evalúa qué elementos de protección solar se comportan mejor para la disminución de la ganancia de calor.

Diseño de control solar en México

En la década de los 80 comenzó a hablarse con mayor resonancia en México acerca del Diseño Bioclimático, así como a desenvolverse un estudio propio. Y es que, de forma gradual, comenzaron a publicarse en español diversos títulos ligados al tema. Algunos libros como: *El libro de la energía solar pasiva*, de Edward Mazria (1983), *El hábitat bioclimático*, de Camous & Watson (1983), *Sol y Arquitectura*, de Patrick Bardou (1980), *Arquitectura Bioclimática* (1980), cada uno de ellos editados por Gustavo Gili.

Gómez (1989) plantea una forma sencilla para definir gráficamente la eficiencia de la protección solar lograda a partir del uso de aleros y partesoles en cualquier fachada, a través de un programa de cómputo. De esta forma, da lugar al diseñador a la posibilidad de modificar las dimensiones de los elementos, de forma iterativa, hasta poder definir las medidas más convenientes. Para esclarecer el método, presentó el caso de una fachada orientada hacia el sureste, en la ciudad de Morelia, Michoacán.

Rodríguez (1989) escribió un artículo en el cual compara dos métodos para la obtención de la posición solar a lo largo del año, para una hora determinada, por el método trigonométrico y el método gráfico. Al valorar los resultados, encontró una divergencia entre 3 y 5%. Asimismo, definió las horas y meses en que debe

usarse protección contra la radiación, de acuerdo con un intervalo de confort en el rango de 17 a 24°C., aplicada en un muro que orientación dada. También definió la ganancia de calor instantánea a través de las superficies transparentes, calculó el exceso de ganancia por radiación que se filtra en la ventana sin protección.

Dos años más tarde, Gómez (1991), publicó una metodología a partir de la cual se calculan y diseñan dispositivos de sombreado. Aplicó un caso de estudio en Colima, en el cual determinó los ángulos óptimos de protección para los aleros. A diferencia del método propuesto por los hermanos Olgyay, Gómez define los elementos de protección aplicables a un 100% de protección y calcula los ángulos óptimos tomando en consideración el diagrama de isorequerimientos y la eficiencia de los ángulos para ambos semestres.

Posteriormente, David Morillón (1993) publicó un estudio gráfico acerca del control solar, para el caso específico de los aleros. En este estudio elaboró cuatro modificaciones en los valores del ángulo, a través de las salientes y las alturas de las mismas y determinó cada una de ellas para encontrar elegir así la mejor opción.

David Morillón y Juan Ramón Morillón (1994), expusieron el estudio de los componentes de protección solar existentes en un edificio ubicado en el centro de Guadalajara, y así también, realizaron los cálculos para la obtención de los ángulos óptimos de los aleros para ocho orientaciones en dicha ciudad.

El año siguiente, ellos mismos (Morillón y Morillón, 1995), definieron los ángulos óptimos de protección solar para aleros, correspondientes a cinco localidades del estado de Jalisco.

Pérez (1995) presentó un procedimiento para el diseño de protecciones solares, a partir de los factores de disminución parcial de la radiación, que se encuentran en función de la orientación de las ventanas. Dichos factores se adquirieron a partir de un *programa de control de asoleamiento*. Sin embargo, no aclara cuál fue el criterio para definir esos factores.

Baltazar *et al* (1997) publicaron un estudio en el que se expone un programa de cómputo para el cálculo y diseño de protecciones solares. Aunque sólo se alude a la incidencia de los rayos sobre determinada fachada, sin tomar en consideración los requerimientos internos de soleamiento o sombreado para establecer el confort.

Un año más tarde, Quiros (1998) publicó un programa de cómputo a través del cual se obtienen unos transportadores con los que se calcula la eficiencia de protecciones solares horizontales y verticales en superficies translúcidas. Dicha eficiencia relaciona solamente el porcentaje de sol y sombra incidente en la ventana.

Mejía (2002) realiza un estudio para cuantificar la disminución de ganancia de calor alcanzada a partir de la implementación de elementos pasivos de control solar, como el alero y el partesol. Complementó el método de diseño de elementos de control solar, propuesto por Gómez Aspeitia, con la parte del cálculo del ángulo óptimo de partesoles, e hizo la recopilación de las distintas formas que adoptan los elementos de control solar. Sus resultados muestran la necesidad de reconsiderar el control solar como una vía, no de manera aislada sino en armonía con otros sistemas pasivos, para el uso eficiente de la energía solar.

D. Morillón y D. Mejia (2004) presenta una publicación en la que recopila diversos estudios sobre el control solar, a partir de los cuales elabora una metodología sintetizada para el diseño de aleros y partesoles, como elementos de protección solar. Con ello, se logra calcular los ángulos óptimos para estos elementos, y de acuerdo a cada orientación. Además, a través de ciertos cálculos determinó el ahorro energético que puede llegar a tener la aplicación de dicha metodología.

Solís (2010) cuantifica el efecto de la orientación y del sombreado de confort a través de un índice de confort térmico y del consumo de energía eléctrica. Su estudio tuvo lugar en seis viviendas del tipo económicas de 30 m² con alta carga térmica, ubicadas en ciudades del norte de México, una por cada estado fronterizo. Concluye que la elección de las orientaciones del conjunto afecta sensiblemente la necesidad de enfriamiento; y que, por su parte, el sombreado, aunque es una técnica muy útil en la mayoría de los casos, en éste en particular requiere de ser total para ser eficiente por sí mismo.

Araceli Morales (2011), en su tesis de posgrado, realizó un estudio completo de las implicaciones térmicas que posee la ventana para la climatización de la vivienda. Hace una recopilación de estudios en los cuales se plantean algunos métodos para medir la ganancia de calor a través del cristal; pero incluyendo, en el análisis, cómo afecta en los cálculos la forma del perímetro de la ventana. Para ello selecciona, de acuerdo con una observación personal, las formas más comunes encontradas en las viviendas del municipio de Chilpancingo, Guerrero. Al final, como resultado de su estudio, se exponen algunas recomendaciones para el diseño y orientación de las ventanas.

Preciado y Morillón (2013) presentaron algunas un software que hace posible realizar un análisis bioclimático a partir de los datos geográficos y climáticos más básicos (temperatura y humedad relativa) de una ciudad o región. Esto permite obtener información valiosa para proponer estrategias de diseño a fin de lograr el confort higrotérmico en las edificaciones; posteriormente, a través del software desarrollado, también es posible trazar las gráficas equidistante y cilíndrica correspondientes a la latitud del lugar para cada semestre del año. Mediante el uso de mascarillas de sombreado sobre la gráfica solar equidistante se diseñan elementos sombreadores como aleros y partesoles, y se evalúa su desempeño

tomando en cuenta las horas en que debe protegerse una ventana de acuerdo con el diagrama de isorrequerimientos obtenido.

Normatividad referente a la ganancia de calor en la vivienda

La NOM-020-ENER-2011 tiene como objetivo limitar las ganancias de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Esta Norma Oficial Mexicana aplica a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existentes.

Por otro lado, la NOM-008-ENER-2001 tiene como finalidad establecer un diseño óptimo, desde el punto de vista de la envolvente, para la obtención de un ahorro energético por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento, y para que los ocupantes experimenten un mejor confort. Para ello, esta norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Esta norma es aplicable a los nuevos edificios para uso no habitacional y para las ampliaciones de dichos edificios ya existentes.

Normas que regulan la construcción de aleros y partesoles

Las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico del Distrito Federal establecen medidas de diseño para el tipo de edificación implementada en la entidad. Están planteadas con la finalidad de prever las condiciones, elementos y dispositivos de apoyo para las personas con discapacidad, incluyendo a los menores, a las gestantes y a los adultos mayores, y brindan las facilidades mínimas necesarias para el libre acceso. Y referente al presente trabajo, hay una sección que describe las delimitaciones que debe tener una marquesina; el cual es un elemento equivalente, en su forma, a lo que son los aleros y los partesoles. Se establece que las marquesinas podrán salir de alineamiento, el ancho de la banqueta disminuido en 1 m., pero sin exceder de 1.50 m. y no deben usarse como balcón cuando su construcción se proyecte en la vía pública. Tampoco se permiten marquesinas sobre los predios de los vecinos.

Conclusiones de las revisiones bibliográficas

El trabajo que los hermanos Olgyay realizaron, con relación al diseño de elementos de protección solar, ha sido el punto de partida para la mayor parte de las publicaciones aquí citadas; y cada uno de los autores mencionados, a su vez, ha producido aportaciones significativas que contribuyen a la obtención de un mejor modelo de diseño. Siendo primordial, en todos los casos, el logro de un mayor estado de confort en el interior de los edificios.

No se halla, en alguno de estos estudios, un análisis de las implicaciones y beneficios que pudiera tener el diseño de elementos automatizados de protección solar. El total de cada uno de ellos se encuadra en la investigación de sistemas pasivos. Tampoco hallamos algún producto o tecnología existente en el mercado, que funcione de acuerdo con los principios de control solar. Si bien pudieran existir elementos de desarrollo en alguna institución, organización o compañía; aún no se perciben presentes en el mundo comercial.

En el presente estudio se sigue la misma línea de los modelos de diseño que han surgido a partir de la metodología establecida por los hermanos Olgyay, con la inclusión de un funcionamiento automatizado. Empezando por medir su impacto en el proceso de climatización, y por definir los fundamentos que constituyen su diseño.

2. CONTROL SOLAR EN EDIFICIOS

En este capítulo se presentan algunos principios básicos correspondientes al diseño de protecciones para el control solar. También se exponen definiciones de algunas palabras que pudieran resultar desconocidas en un nivel de lenguaje común. Esto con la finalidad de que el lector tenga mayor fluidez en la revisión del presente texto, aun si no es experto en el tema.

Conceptos básicos

Envolvente de un edificio

La envolvente del edificio es la separación entre el interior y el entorno exterior de un edificio. Además, esta es utilizada para proteger el interior así como para facilitar su control climático.

Ganancia solar

La ganancia solar, conocida también como ganancia calorífica solar o ganancia pasiva solar, resulta ser una medida del calor obtenido por un cuerpo a resultas de ser expuesto a la radiación solar. Este parámetro dependerá de la latitud geográfica en la que encuentre el objeto en estudio, de la época del año (declinación solar), superficie expuesta y absorbanza. Cuanto mayor sea la ganancia solar, en menor tiempo adquirirá el material una temperatura dada.

Sistemas de control solar pasivos

Los sistemas pasivos conforman el conjunto de elementos que se utilizan para captar, interceptar o acumular el calor proveniente de la energía solar. Se les llama pasivos ya que no utilizan otros dispositivos electromecánicos para su correcto funcionamiento.

Alero

Morillón (2004) define el alero como “... un dispositivo horizontal que sobresale de la parte superior de la ventana y que obstruye la componente vertical de la radiación solar...”

Como se muestra en la figura a continuación, los aleros pueden ser medidos de acuerdo a su ángulo de protección, el cual está conformado por el plano horizontal de 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.

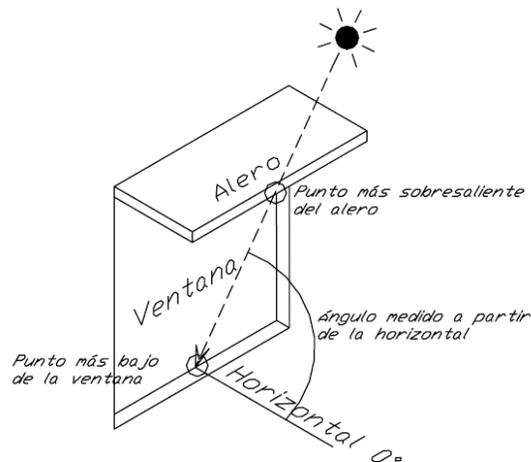


Fig. 2.1 Representación gráfica del ángulo de protección en el alero³

Un ángulo de 0° describe a un alero con magnitudes infinitas que se extiende prácticamente hasta el horizonte, el cual es un caso irreal. Y un ángulo de 90° describe la inexistencia de protección solar, como si el alero no estuviese. Así pues, los ángulos de protección de los aleros deben encontrarse en un intervalo de 0° a 90° . A continuación algunos gráficos que ilustran estas definiciones.

³ Figura tomada de Morillón (2004), *Modelo de diseño y evaluación del control solar en edificios Incompleta la fuente*

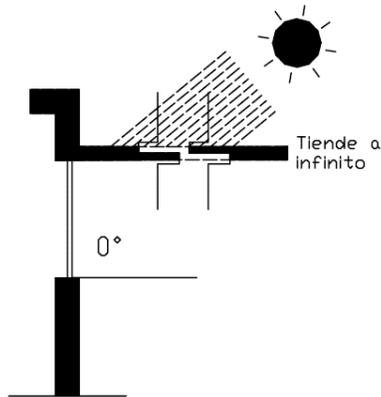


Fig. 2.2 Alero de 0⁰⁴

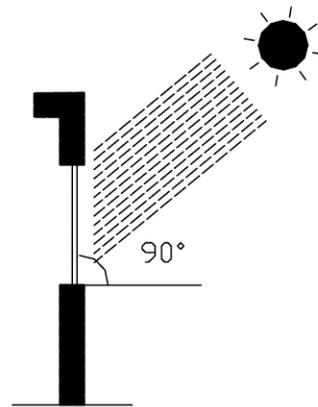


Fig. 2.3 Alero de 90⁰⁵

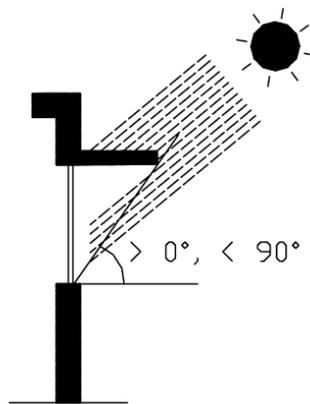


Fig. 2.4 Alero mayor de 0⁰ y menor de 90⁰⁶

Partesol

David Morillón (2004) define el partesol como “... un elemento 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”.

De forma similar a los aleros, los partesoles pueden ser identificados de acuerdo con su ángulo de protección. Dicho ángulo está conformado por el plano vertical

⁴ Ibídem

⁵ Ibídem

⁶ Ibídem

de la ventana y por una línea imaginaria que une el punto más sobresaliente del partesol con el extremo opuesto de la ventana. Como se muestra en la figura:

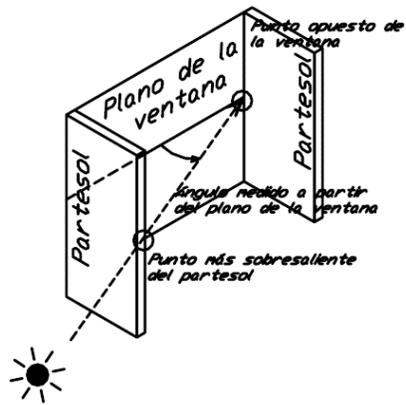


Fig. 2.5 Partesol⁷

Cabe señalar que, en este caso, un ángulo de 0° describe la inexistencia del partesol, donde todos los rayos solares inciden en la ventana. Un ángulo de 90° describe un partesol con magnitudes infinitas, donde la totalidad de los rayos solares son interceptados, lo cual sería un caso irreal. Así pues, los partesoles tienen un ángulo de protección que se ubica entre los 0° y 90° .

Las siguientes figuras ilustran estas definiciones. Entiéndase cada una de ellas como una representación en vista aérea:

⁷ Ibídem

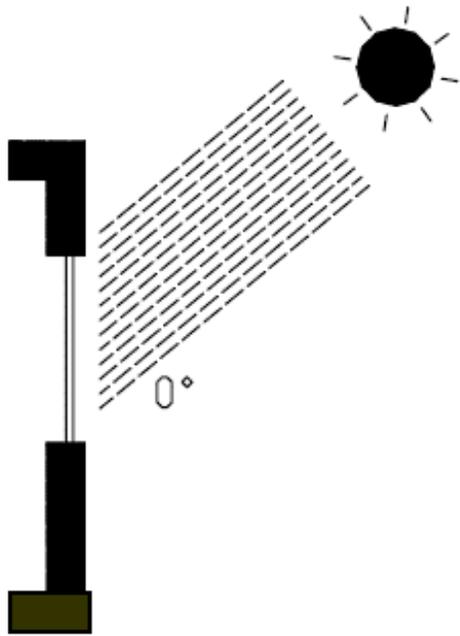


Fig. 2.6 Partesol de 0⁰⁸

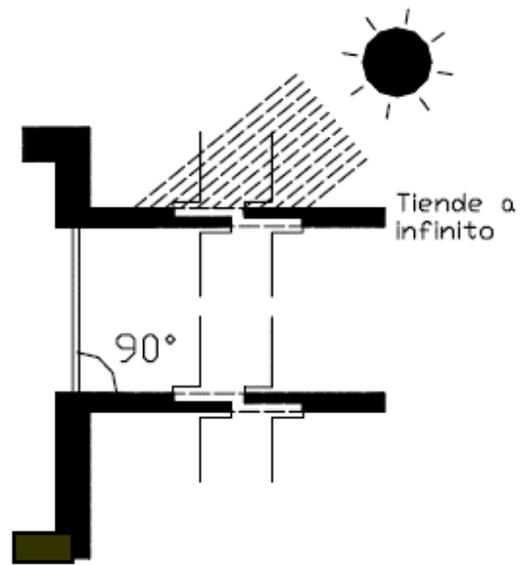


Fig. 2.7 Partesol de 90⁰⁹

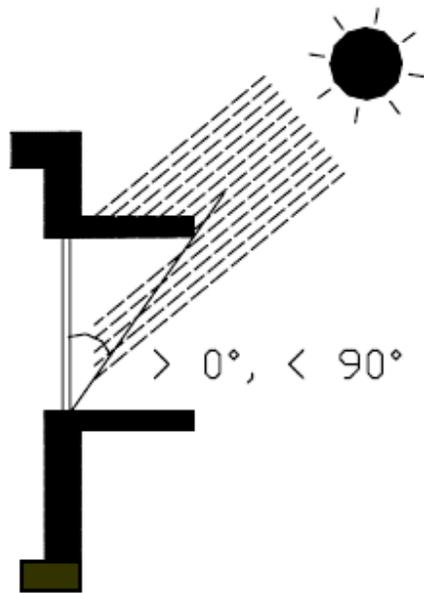


Fig. 2.8 Partesol mayor de 0° y menor de 90¹⁰

⁸ Ibídem
⁹ Ibídem
¹⁰ Ibídem

Sistemas de control solar activos

Los elementos de control solar activos básicamente se diferencian de los sistemas pasivos en que los primeros contemplan el uso de componentes electromecánicos para su conformación, y por ende requieren de un suministro energético (generalmente energía eléctrica) para su funcionamiento.

Con ello, se plantea el uso de motores, pistones, o cualquier otro tipo de actuadores; así como la utilización de sensores (de temperatura, luminosidad, contacto, etc.). Todos ellos interactúan mediante la utilización de un controlador, el cual funciona como el cerebro que concentra las mediciones y que regula los movimientos de actuación.

La ventaja de ellos es que funcionan de acuerdo a las variaciones, en tiempo real, de las condiciones climáticas, lo cual puede elevar significativamente los niveles de eficiencia en la función del control solar. Pero, de forma opuesta, también pueden generar un costo más alto, son más complejos para construir e implican un mayor costo de mantenimiento.

Protecciones de control solar activo existentes en el mercado

Actualmente, a nivel internacional existen diversas empresas que se dedican a crear mecanismos y dispositivos que cumplen con la función de manipular el movimiento de cierre y apertura de las ventanas y/o marquesinas. Gran parte de ellas contribuyen a lo que hoy conocemos como Domótica, lo cual se entiende como el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, y tiene como intención primordial mejorar el confort, la seguridad y el ahorro energético de una vivienda¹¹.

Sin embargo, al revisar los productos que al día de hoy se están vendiendo en el mercado, se puede verificar que casi en ninguna de estas compañías se han realizado diseños con un enfoque bioclimático. Si bien mejoran la seguridad y el confort de una vivienda, aún no han tenido un sentido hacia el ahorro energético, como el que ahora se está presentando.

La gran mayoría de los productos existentes en el mercado son protecciones pasivas, es decir, elementos que no tienen un funcionamiento automático, o bien, se encuentran fijos sobre la pared.

Por ejemplo, se encuentran las llamadas películas de control solar, las cuales constan básicamente de una superficie delgada que se adhiere sobre la ventana, ya sea al interior, al exterior o en ambas partes. Tienen la capacidad de filtrar la

¹¹ Diccionario de la Real Academia Española, <http://lema.rae.es/drae/>, 2013

luz solar en un alto porcentaje. Y también suelen poseer funciones decorativos y de seguridad.



Figura 2.9 Película de control solar¹²

Otro artículo común, usado con fines de control solar, es el toldo. El toldo o cubierta de lona es una superficie en forma de membrana, elaborado de lona o tela fuerte que se coloca sobre ventanas, o sobre diversas áreas que exponen al hogar a la luz solar; con el fin de generar sombra, proteger de la intemperie o cerrar un espacio. Generalmente los toldos pueden ser extendidos o retraídos, manualmente, de acuerdo con la complacencia de los habitantes de la vivienda. Hoy en día, también existen dispositivos automáticos que controlan el movimiento de estos elementos, en función del uso de sensores ópticos.



Figura 2.10 Toldo de tela¹³

¹² Foto tomada de hackettlocksmith.com

También existen la persiana, el cual es un elemento mecánico en el exterior o interior (generalmente interior) de un balcón o ventana para proteger las habitaciones de la luz o el calor. La persiana presenta un doble movimiento de apertura y cierre que se manifiesta por lo general en una acción de subida y bajada.



Figura 2.11 Persianas¹⁴

Hoy en día, existen sistemas de control automatizado que se adaptan para el funcionamiento de las persianas. Son sistemas que hacen un seguimiento de las condiciones del Sol y el cielo en tiempo real mediante un sistema de sensores instalados en el edificio. El programa ajusta las sombras arrojadas por las cortinas, moviéndola a una posición especificada por el sistema, controlando la cantidad de luz directa que puede entrar así como la carga de BTU sobre la ventana. Cuando está nublado, el sistema ajusta las ventanas para dejar entrar la luz al edificio. Y si el Sol sale, se ajustarán las cortinas para proteger a los usuarios del exceso de radiación.

¹³ Foto tomada de decorablog.com

¹⁴ Foto tomada de decorailumina.com

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EL CONTROL SOLAR ACTIVO

Como se ha mencionado, en este estudio se retoman gran parte de los principios ya establecidos en el diseño de control solar pasivo, para la construcción de una metodología del diseño de elementos de protección solar activos. Así que, las primeras dos partes de la metodología (Identificación de necesidades y la explicación de las herramientas de diseño) provienen del modelo realizado por David Morillón (2004), y la tercera parte, que es el proceso mismo de diseño, es una aportación de este estudio.

Por lo cual, a continuación se sintetiza la metodología presentada por David Morillón (2004), para el diseño de aleros y partesoles. Sólo se retoma dicho modelo desde el principio hasta la parte en donde se describe cómo determinar el Diagrama de isorrequerimientos.

La parte de la metodología que se ha retomado comprende, fundamentalmente, dos etapas:

- I. Identificación de necesidades de protección solar
- II. Determinación de los ángulos de protección solar

I. Identificación de necesidades de protección solar

Básicamente, se llevan a cabo tres pasos para analizar el bioclima e identificar las necesidades de la localidad en estudio, para el confort térmico:

1. Se obtienen los datos horarios de temperatura
2. Se calculan las zonas de confort para cada mes.
3. Se elabora el diagrama de isorrequerimientos de climatización

1. Obtención de los datos de temperatura horaria

Los datos de temperatura horaria son el conjunto de valores de temperatura promedio que se registran para cada hora del día, en los diferentes meses del año.

Así pues, el primer paso en la identificación de necesidades es la recopilación de datos de temperatura horaria, los cuales pueden ser adquiridos desde una cierta bibliografía que los incluya, o bien, pueden registrarse a partir de mediciones directamente efectuadas en el lugar de estudio. Desde luego, esta segunda opción

sería un tanto complicada, si no se cuenta con un equipo de medición adecuado. Además de que tendría que transcurrir un año, por lo menos, para poder adquirir la totalidad de los datos.

En el caso de México, se recomienda consultar el estudio realizado por David Morillón (2004), denominado *Atlas del bioclima de México*. Y para el resto del mundo, si no se localiza alguna bibliografía en la que se publiquen tales datos, se recomienda solicitar la información a los centros de investigación ligados al área de estudio.

2. Determinación de la zona de confort

La temperatura de confort (T_n), también llamada temperatura neutral o *termopreferéndum* es la media de temperaturas preferidas según una larga muestra (las cuales generalmente oscilan entre los 18.5 °C y 29.5°C), que relaciona la sensación de confort con la temperatura exterior de bulbo seco.

Se puede calcular dicha temperatura utilizando la expresión propuesta por Auliciems (1990):

$$T_n = 17.6 + 0.31 (T_o)$$

Donde T_n es la temperatura de confort y T_o la temperatura media por mes. La temperatura de confort entonces resulta ser el centro de confort térmico para cada mes de la localidad en estudio.

Para calcular la zona de confort, también requerimos calcular la amplitud de la zona de confort. Para ello, lo primero es determinar la oscilación media de la temperatura del aire, con base en las temperaturas máxima y mínima promedio mensual. Y con base en la siguiente tabla (Tabla 3.1) se determina la zona de confort, la cual, centrada en torno a T_n , determina los límites de la zona de confort.

Esto es, se calcula la diferencia que existe entre la mínima y la máxima temperatura para cada mes. Dicha diferencia corresponde a lo que en la tabla se conoce como oscilación media de la temperatura del aire, a partir de ello, se relaciona el renglón con la amplitud de la zona de confort que le corresponde.

Una vez hecho este cálculo para cada uno de los meses, se procede a calcular los valores límite de temperatura para la zona de confort, el inferior y el superior; se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Límite inferior} = T_n - \Delta t$$

$$\text{Límite superior} = T_n + \Delta t$$

Los valores de temperatura comprendidos entre estas dos cantidades constituyen la zona de confort.

TABLA 3.1 AMPLITUD DE LA ZONA DE CONFORT VS. OSCILACIÓN MEDIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE¹⁵

Oscilación media de la temperatura del aire (°C)	Amplitud de la zona de confort ΔT (°C)
Menos de 13	2.5
13-15	3.0
16-18	3.5
19-23	4.0
24-27	4.5
28-32	5.0
33-37	5.5
38-44	6.0
45-51	6.5
más de 51	7.0

Las Temperaturas que superen este umbral indican periodos sobrecalentados y las temperaturas que se encuentren por debajo indican periodos fríos.

Finalmente se construye el Diagrama de isorequerimientos sobre la tabla de datos de temperatura horaria, simplemente distinguiendo con un color determinado todas aquellas celdas en donde se tengan temperaturas ubicadas dentro de la zona de confort para el mes correspondiente. Con un color diferente se marcan las temperaturas que están por debajo de la zona de confort (condiciones de frío), y con otro color las temperaturas que están por encima de la zona de confort (condiciones de calor).

A continuación se muestra un ejemplo de dicho diagrama:

¹⁵ Tomada de *Modelo de Diseño y evaluación del control solar en edificios*, Morillón (2004)

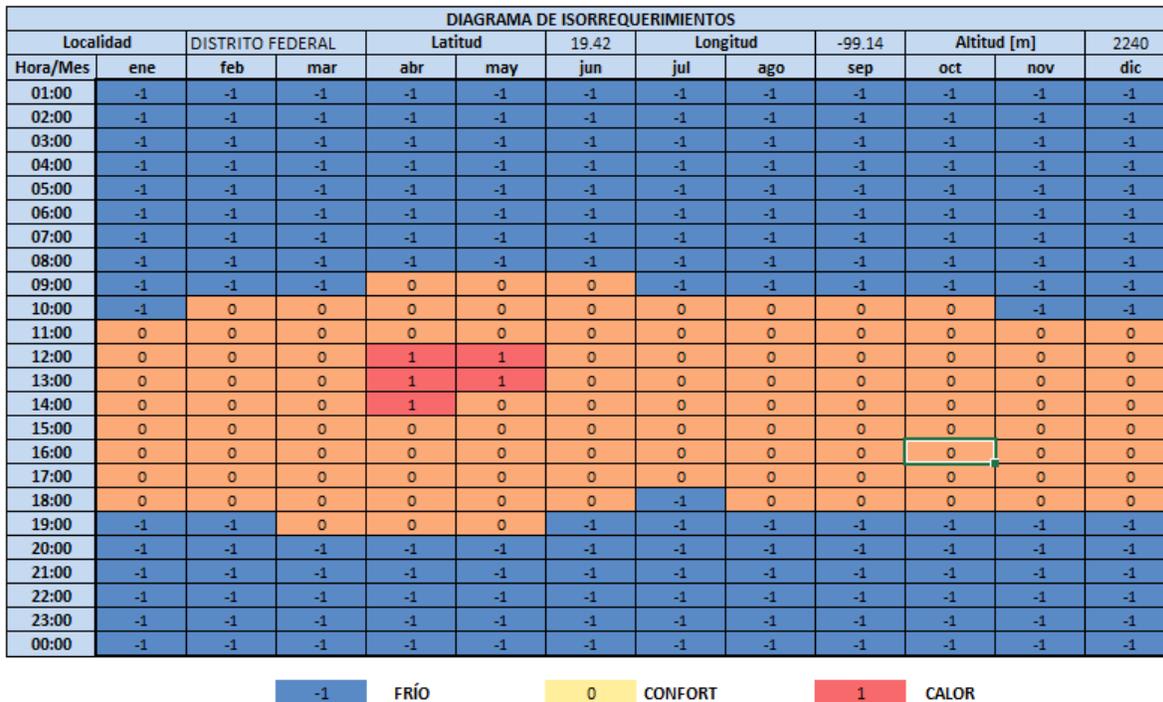


Figura 3.1 Ejemplo de un diagrama de isorrequerimientos (Distrito Federal, México)¹⁶

Gráficas solares estereográficas

El siguiente paso consiste en concentrar los datos, contenidos en la tabla de isorrequerimientos, en las gráficas solares estereográficas.

Definición de la gráfica solar estereográfica

La gráfica solar de proyección estereográfica es una representación de la trayectoria solar basada en la proyección ortogonal, que consiste en trasladar la ruta del Sol, descrita sobre la bóveda celeste, sobre el plano del horizonte. Es una representación plana de la trayectoria solar. La lectura de los ángulos de acimut y altura solar se facilita, ya que se encuentran concentrados en una misma carta.

La gráfica estereográfica puede representar la trayectoria solar a lo largo de todo el año. Sin embargo, para efectos del presente estudio, se recomienda utilizar dos gráficas, una para cada semestre. Tal que el primer semestre comprende la trayectoria solar desde el mes enero hasta junio, y el segundo semestre de julio hasta diciembre.

¹⁶ Gráfico obtenido a partir del uso del software “BIOSOL”, elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

Las gráficas solares que se incluyen en este estudio fueron tomadas de una hoja de cálculo presentada por Preciado y Morillón (2013), genera de forma automática el diagrama de isorrequerimientos y la gráfica solar, a partir de la introducción de ciertos datos (latitud, longitud, altitud, temperatura máxima y mínima para cada mes, humedad relativa máxima y mínima para cada mes, así como las humedades relativas medias para cada mes).

A continuación se muestra un ejemplo de la gráfica estereográfica. En este caso se representa la gráfica solar para el Distrito Federal, México.

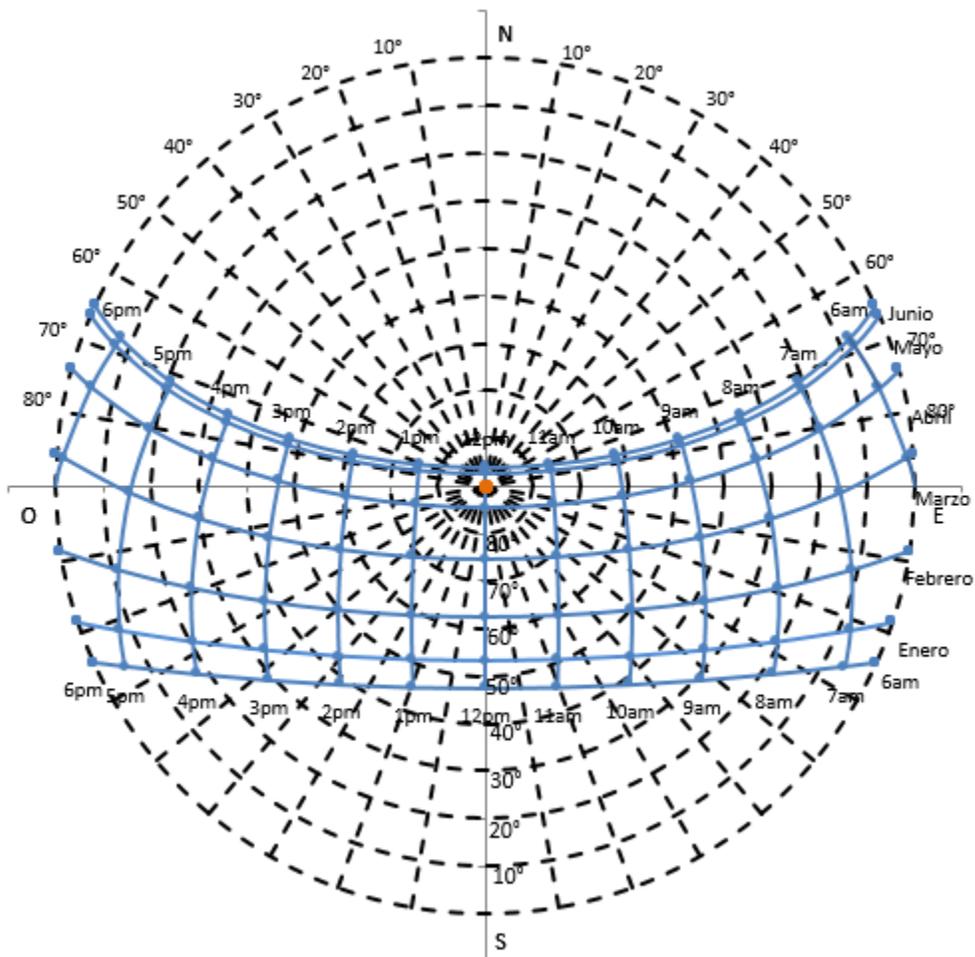


Figura 3.2 Gráfica solar estereográfica del DF, México, para el primer semestre¹⁷

¹⁷ Ídem

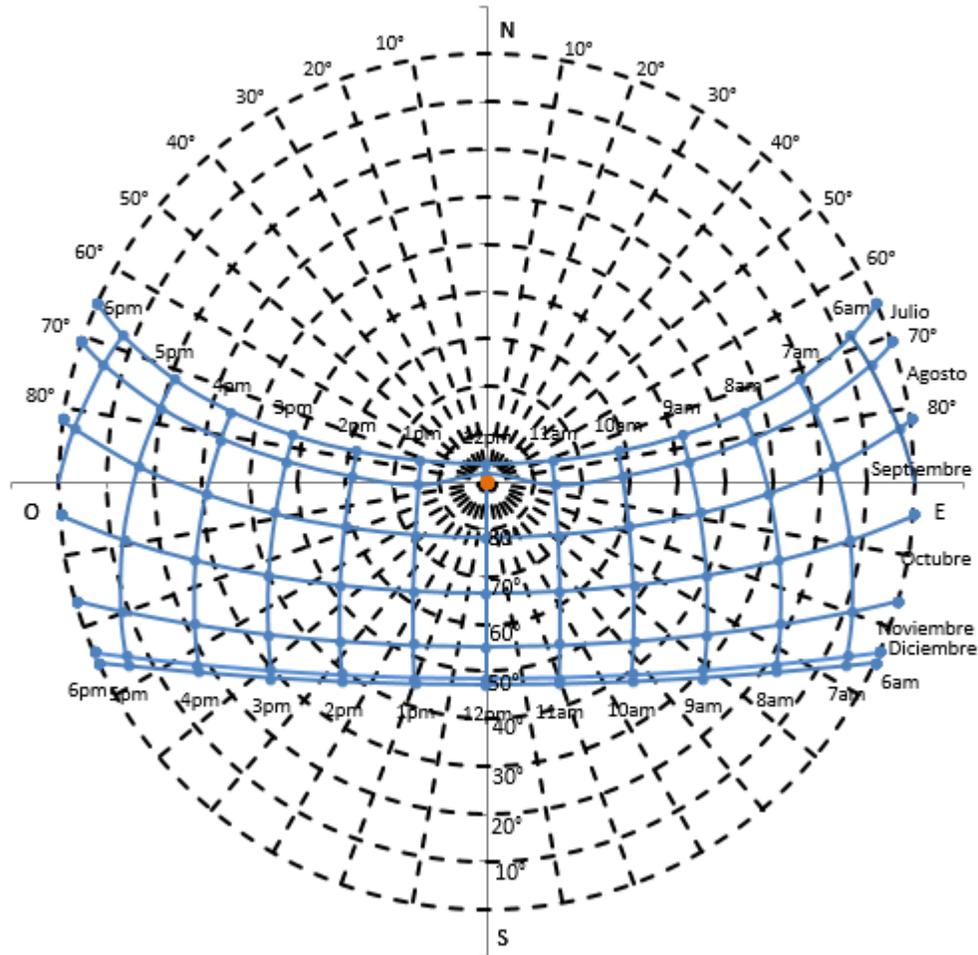


Figura 3.3 Gráfica solar estereográfica del DF, México, para el segundo semestre¹⁸

Esta gráfica es muy útil para el estudio de sombras, para el análisis y evaluación de dispositivos de control solar y para tomar decisiones sobre la orientación y ubicación de los espacios, ya que sobre ella pueden sobreponerse diagramas de sombreado, diagramas energéticos de radiación o iluminación, o simplemente expresar sobre ella los rangos y variaciones de temperatura de la localidad en estudio.

El diseñador podrá obtener dichas gráficas de diversas formas: Puede hacer una observación propia, y medir la posición del Sol directamente estando en el lugar de estudio; puede calcular los puntos de trayectoria a partir de diversos modelos que hasta el día de hoy ya sean hecho; o bien, la forma más sencilla, puede recurrir al trabajo ya realizado por diversos expertos en el tema, los cuales se dedican a generar este tipo de información.

¹⁸ Ídem

Cómo se lee una gráfica solar estereográfica

La gráfica estereográfica puede entenderse imaginando que se tiene una vista aérea en la que se observa cómo el sol se traslada desde el este hacia el oeste, a través de las diferentes horas.

Las líneas curvadas casi horizontales representan la trayectoria del Sol. En el caso del primer semestre, la primer línea de abajo hacia arriba indica la trayectoria del Sol durante el mes de enero, la segunda durante el mes de febrero y así sucesivamente hasta llegar a la trayectoria solar en junio. Por otra parte, en la gráfica del segundo semestre el orden es inverso. La primera línea de arriba hacia abajo indica la trayectoria solar en el mes de julio, y la última línea indica la trayectoria del mes de diciembre.

Se puede observar, en las gráficas, que en los meses de enero y diciembre el Sol aparece con una orientación más cercana al Sur; y sucede lo contrario en los meses de junio y julio, en donde el Sol se encuentra más cercano al Norte, con respecto al resto del año.

Las líneas curvadas casi verticales representan las horas del día. Tal que las primeras líneas de derecha a izquierda indican las primeras hora del amanecer, en la parte media se encuentra el mediodía, y hasta el extremo izquierdo se encuentran las últimas horas del atardecer. Así pues, puede identificarse la posición aproximada del Sol en cada periodo del día.

En la siguiente gráfica se representan algunos ejemplos para esclarecer la explicación:

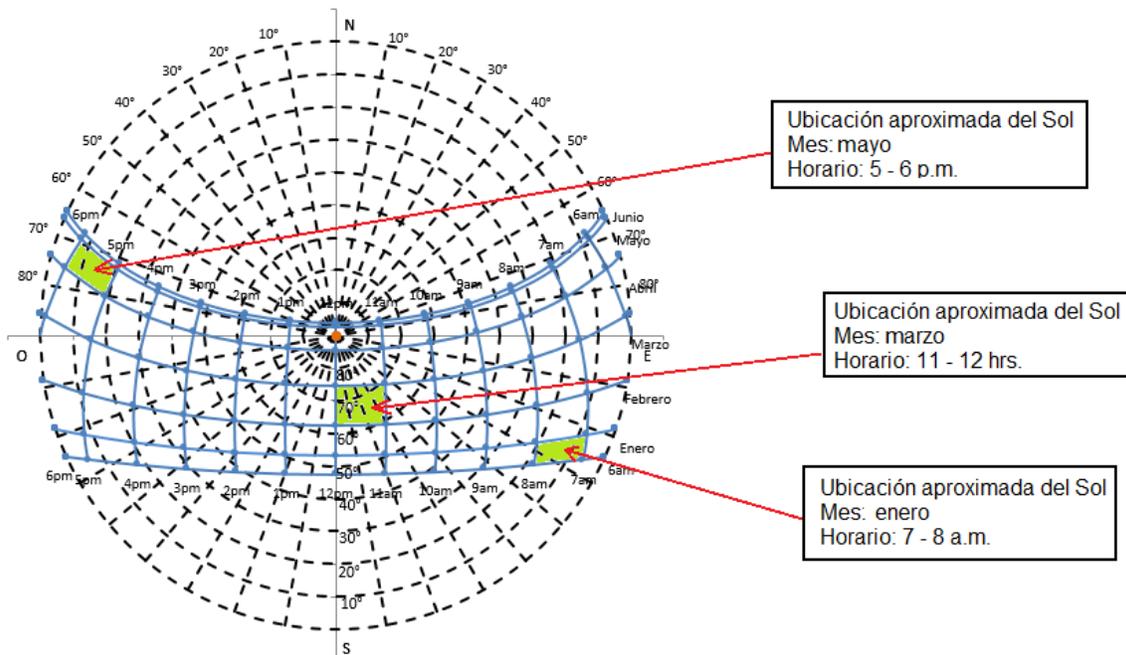


Figura 3.4 Ejemplos de lectura de la gráfica solar estereográfica¹⁹

Integración de datos de necesidades de protección solar de la tabla de isorrequerimientos en la gráfica solar estereográfica

En el diagrama de isorrequerimientos se distinguen tres diferentes zonas, de acuerdo a sus condiciones térmicas: zona de confort, zona de frío, y zona de calor. Para efectos de la integración de datos en la gráfica solar deben unificarse la zona de calor y la zona de confort. Es decir, en los momentos en que se tengan condiciones de calor y de confort, se llevará a cabo la protección solar; para propiciar la ventilación sin recibir transmisión de calor por radiación, en el caso de tener calor; y en el segundo caso, para conservar dicho confort.

Así pues, en la gráfica estereográfica deben distinguirse, de forma visual, los periodos en los que debe efectuarse la protección solar, de los periodos en los que no debe efectuarse.

En la siguiente imagen se ilustra la forma en que pudiera visualizarse esta consolidación de datos en la gráfica solar estereográfica:

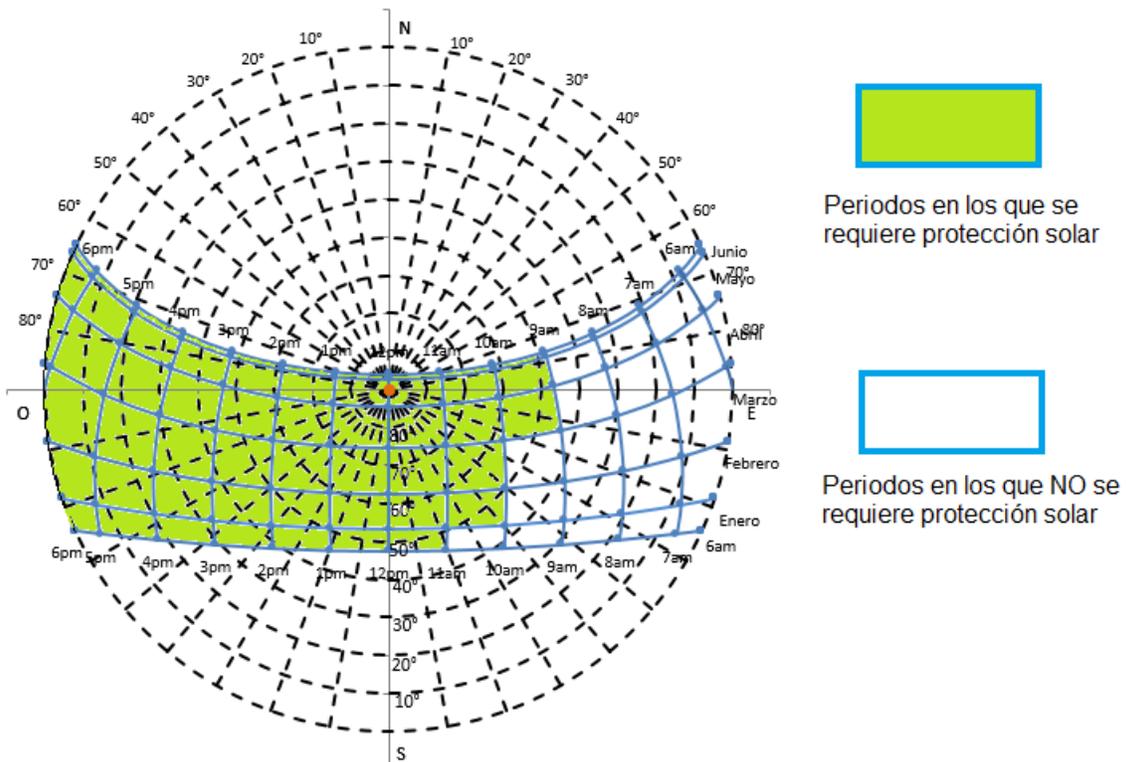


Figura 3.5 Consolidación de datos en una gráfica solar estereográfica²⁰

¹⁹ Ídem

²⁰ Ídem

II. Determinación de los ángulos de protección solar

En la tercera etapa de este procedimiento se emplea una herramienta adicional, llamada Mascarilla de Sombreado.

Mascarilla de sombreado

La mascarilla de sombreado es un diagrama que se utiliza para determinar las áreas de sombra producidas por cualquier objeto dentro de la bóveda celeste, en este caso las protecciones solares, aleros y partesoles. Así pues, existen dos tipos de líneas, un tipo para poder determinar la sombra de los aleros y el otro tipo para poder determinar la sombra producida por los partesoles.

El primer tipo de líneas, para determinar la sombra de los aleros, consiste en un conjunto de líneas curvas convergentes a los extremos del eje diametral. A continuación se ilustran tales líneas:

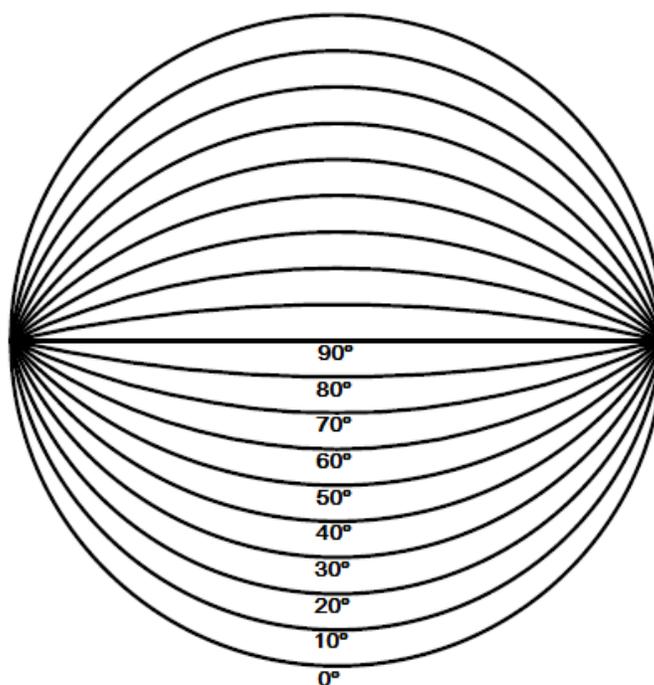


Figura 3.6 Líneas auxiliares de la mascarilla de sombreado para el análisis de la sombra efectuada por los aleros

Como podrá observar el lector, la línea media, en los 90°, nos indica la orientación que tiene el objeto en estudio. En este caso, podría interpretarse que la fachada

tiene orientación Sur. Y cada una de las líneas curvas nos auxilian para determinar el ángulo de protección solar, como se explica más adelante.

Por otro lado, para determinar la sombra efectuada por los partesoles se contempla un conjunto líneas que resulta de bisectar la bóveda celeste con planos inclinados a cada 10° de altura a partir del horizonte, y determinan los ángulos acimutales de los objetos obstructores.

A continuación se ilustran tales líneas:

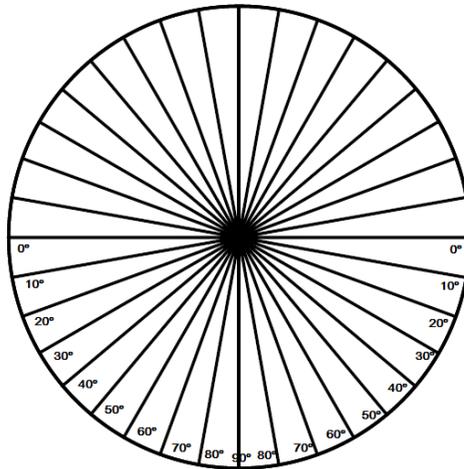


Figura 3.7 Líneas auxiliares de la mascarilla de sombreado para el análisis de la sombra efectuada por los partesoles

Al unir ambos grupos de líneas se conforma lo que se conoce como Mascarilla de sombreado:

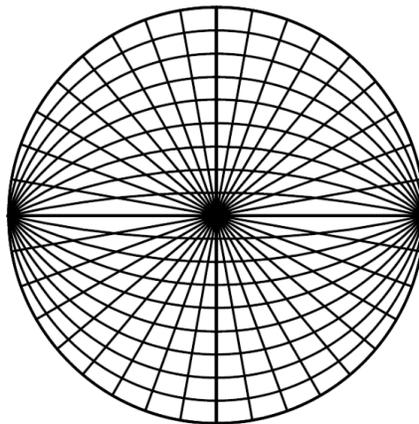


Figura 3.8 Mascarilla de sombreado

Análisis de la gráfica solar con el uso de la mascarilla de sombreado

Cuando se sobrepone la mascarilla de sombreado a la gráfica solar estereográfica, se forma un esquema que nos permite determinar gráficamente las horas del día, y meses del año, en que se cuenta con radiación solar incidente sobre una fachada totalmente expuesta o con dispositivos de control solar, en éste último caso podemos evaluar el grado de protección que ofrecen éstos elementos al edificio, cuantificando y cualificando la sombra que proyectan sobre la fachada o aberturas.

Y partiendo de un modo inverso, nosotros podemos diseñar los dispositivos de control si establecemos el grado de protección conveniente, es decir, la cantidad y calidad de sombra que se necesita proyectar sobre el edificio en las distintas épocas del año, dependiendo no solamente de los ángulos de incidencia solar, sino también de las condiciones ambientales del sitio en estudio.

A partir del diagrama de isorrequerimientos, se deben distinguir, en la gráfica estereográfica, los días en los que se requiere aprovechamiento solar (cuando se percibe frío) de los días en que se requiere protección solar (cuando hay condiciones de calor y confort).

Si a estas cartas estereográficas les interponemos las mascarillas de sombreado, podremos definir fácilmente, y de forma visual, los ángulos de protección que requieren los aleros y partesoles para cada hora, y en cada mes del año.

Ángulo de protección solar de los aleros y su representación en la carta estereográfica

Los ángulos de protección de los aleros tienen una representación gráfica en las cartas estereográficas. Esta representación nos permite analizar visualmente el nivel de protección que tendrá el alero sobre la ventana, de acuerdo a la hora del día y al mes del año en cuestión. O por lo contrario, podemos identificar el ángulo de protección que requiere una ventana para cada hora del día, haciendo un proceso inverso.

En los gráficos, que a continuación se presentan, se exponen algunos bosquejos representativos que ilustran la equivalencia que existe entre el ángulo de protección de los aleros y el comportamiento de la sombra bajo la ventana a lo largo del año, expresada en la carta estereográfica.

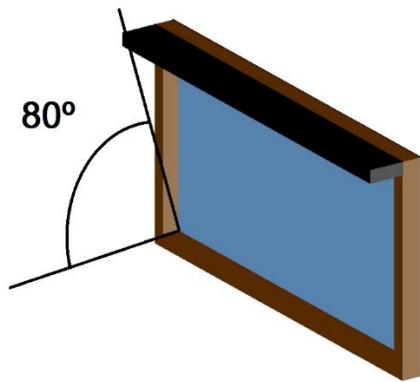


Fig. 3.9 Alero con un ángulo de protección de 80°

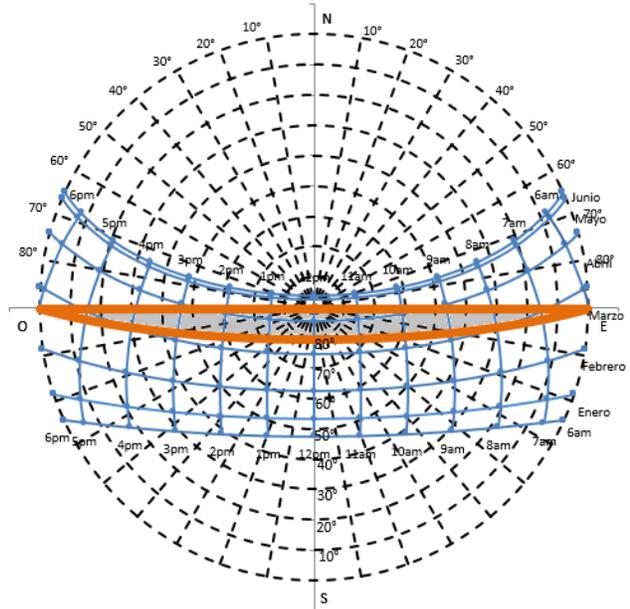


Fig. 3.10 Gráfica solar para un alero de 80°²¹

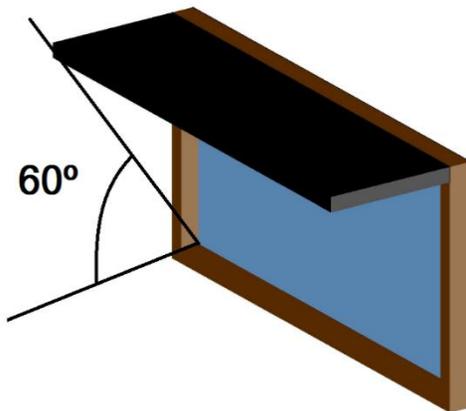


Fig. 3.11 Alero con un ángulo de protección de 60°

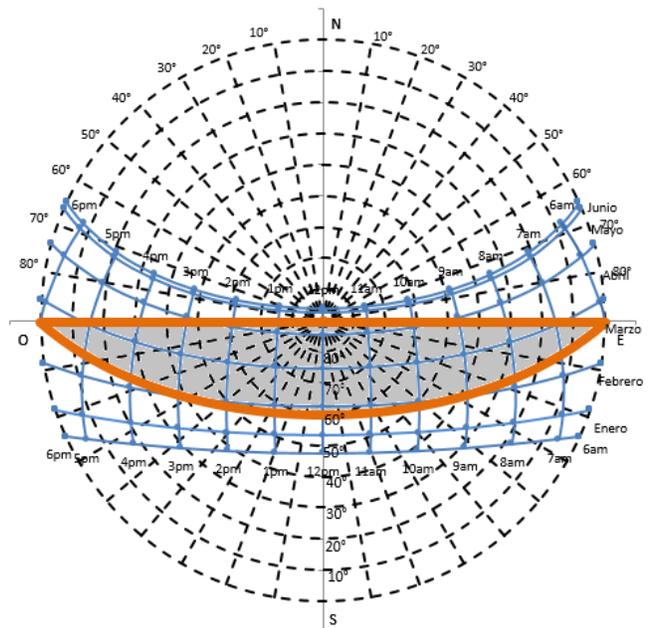


Fig. 3.12 Gráfica solar para un alero de 60°²²

²¹ Gráfico obtenido a partir del uso del software "BIOSOL", elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

²² Ídem

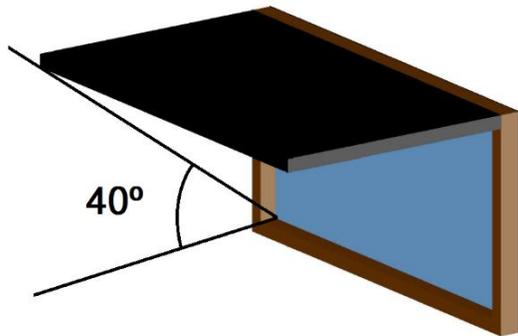


Fig. 3.13 Alero con un ángulo de protección de 40°

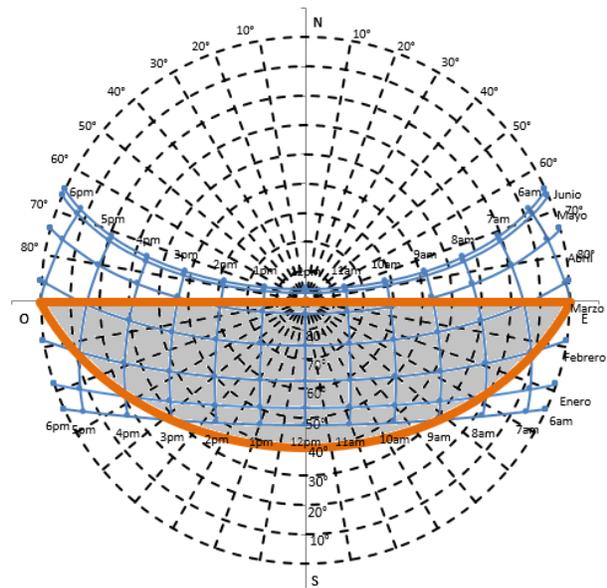


Fig. 3.14 Gráfica solar para un alero de 40°²³

Estas figuras ilustran los diferentes niveles de protección de los aleros para ventanas colocadas con una orientación hacia el Sur. Como se puede observar, de acuerdo con este ejemplo, en esta orientación se tiene el mayor impacto de la radiación solar. En las gráficas solares, se han representado en color gris las orientaciones que el alero correspondiente puede proteger de la radiación solar. Y así, el diseñador puede analizar gráficamente que ángulo de protección requeriría una cierta superficie para todas las horas del día, en cada mes del año.

Ángulo de protección solar en partesoles y su representación en la carta estereográfica.

Los ángulos de protección de los partesoles también tienen una representación gráfica en las cartas estereográficas. Esta representación permite analizar visualmente el nivel de protección que tendrá el partesol sobre la ventana, de acuerdo con la hora del día y al mes del año en cuestión.

A continuación se muestran algunos bosquejos representativos que ilustran la equivalencia que existe entre el ángulo de protección de los partesoles y el comportamiento de la sombra bajo la ventana a lo largo del año, expresada en la carta estereográfica.

²³ Ídem

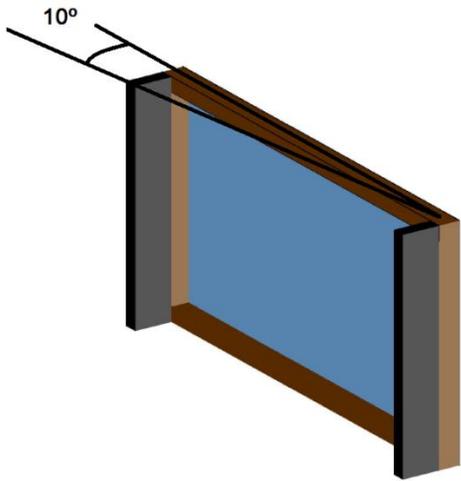


Fig. 3.15 Partesoles con un ángulo de protección de 10°

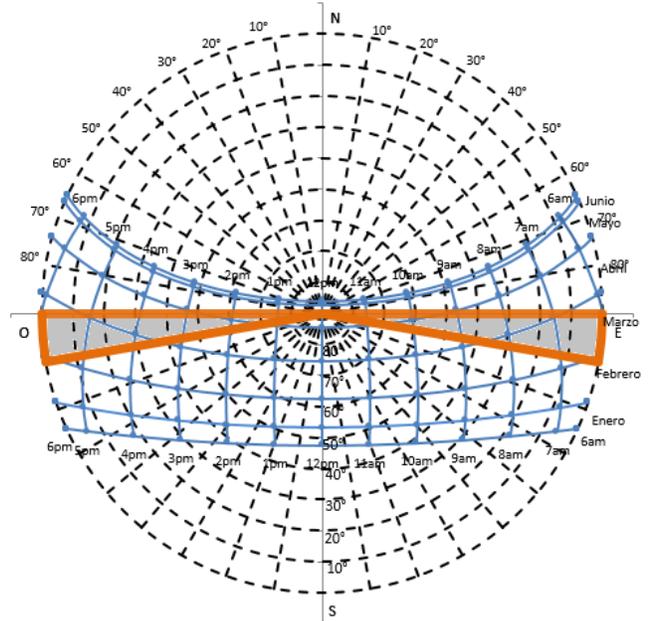


Fig. 3.16 Gráfica solar para partesoles de 10°²⁴

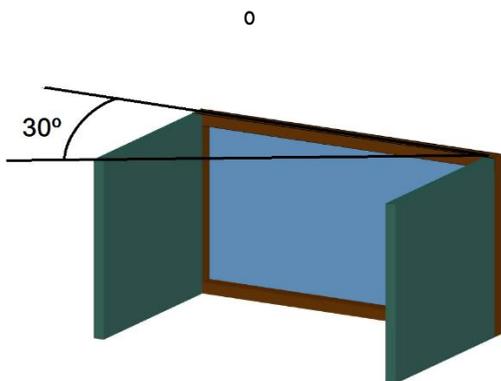


Fig. 3.17 Partesoles con un ángulo de protección de 30°

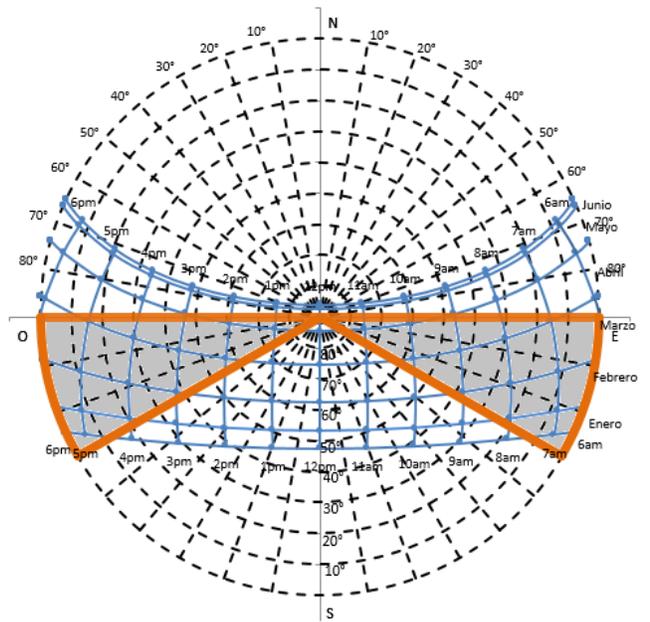


Fig. 3.18 Gráfica solar para partesoles de 30°²⁵

²⁴ Gráfico obtenido a partir del uso del software "BIOSOL", elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

²⁵ Ídem

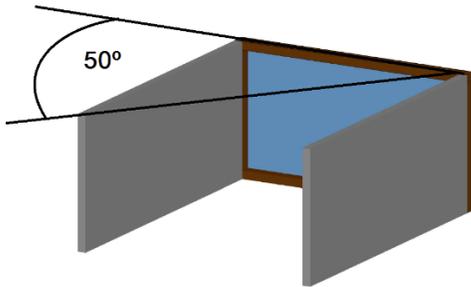


Fig. 3.19 Partesoles con un ángulo de protección de 50°

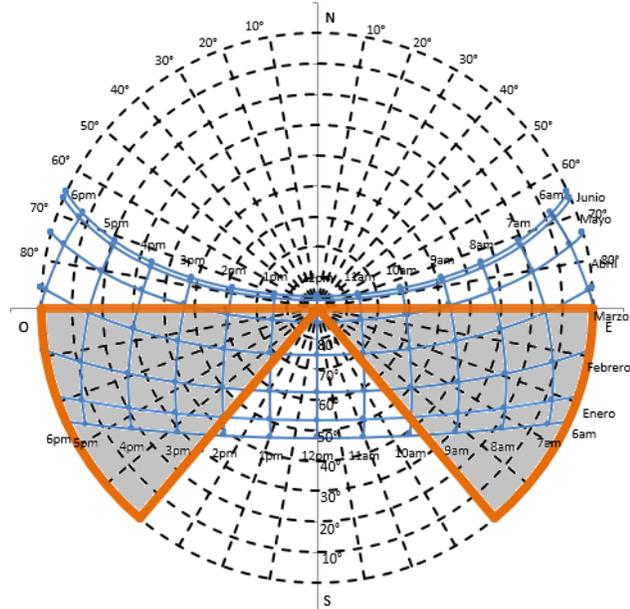


Fig. 3.20 Gráfica solar para partesoles de 50°²⁶

Estas figuras ilustran los diferentes niveles de protección de los partesoles para ventadas colocadas con una orientación hacia el Sur. Nuevamente, en la gráfica solar se han resaltado en color gris las diferentes orientaciones en las que los partesoles protegen las superficies en cada hora, los diferentes meses del año.

La metodología de Diseño expuesta por David Morillón continúa con algunos pasos adicionales, los cuales tienen la finalidad de definir las dimensiones óptimas del alero y/o el partesol, a partir del Diagrama de Isorrequerimientos y de las Cartas estereográficas, para la obtención del mayor ahorro energético posible. Sin embargo, para el objetivo planteado en este trabajo, sólo se requerirá llegar hasta este punto, y a partir de aquí, centrar la información y los cálculos adquiridos para el diseño del control activo, como se propone a continuación.

Construcción de la tabla de ángulos de protección horarios

A partir de lo que recién se ha explicado, y una vez consolidados los datos de temperatura horaria en la gráfica estereográfica, podemos identificar qué ángulos de protección solar se requieren para cada hora del día. El siguiente paso entonces es consolidar todos esos datos en una tabla, semejante a la que se construye en el Diagrama de Isorrequerimientos, pero con los datos de los ángulos de protección solar correspondientes.

²⁶ Ídem

Podemos, por un lado, analizar los requerimientos para la protección de aleros, sobreponiendo las líneas correspondientes a la mascarilla de sombreado, como se muestra a continuación:

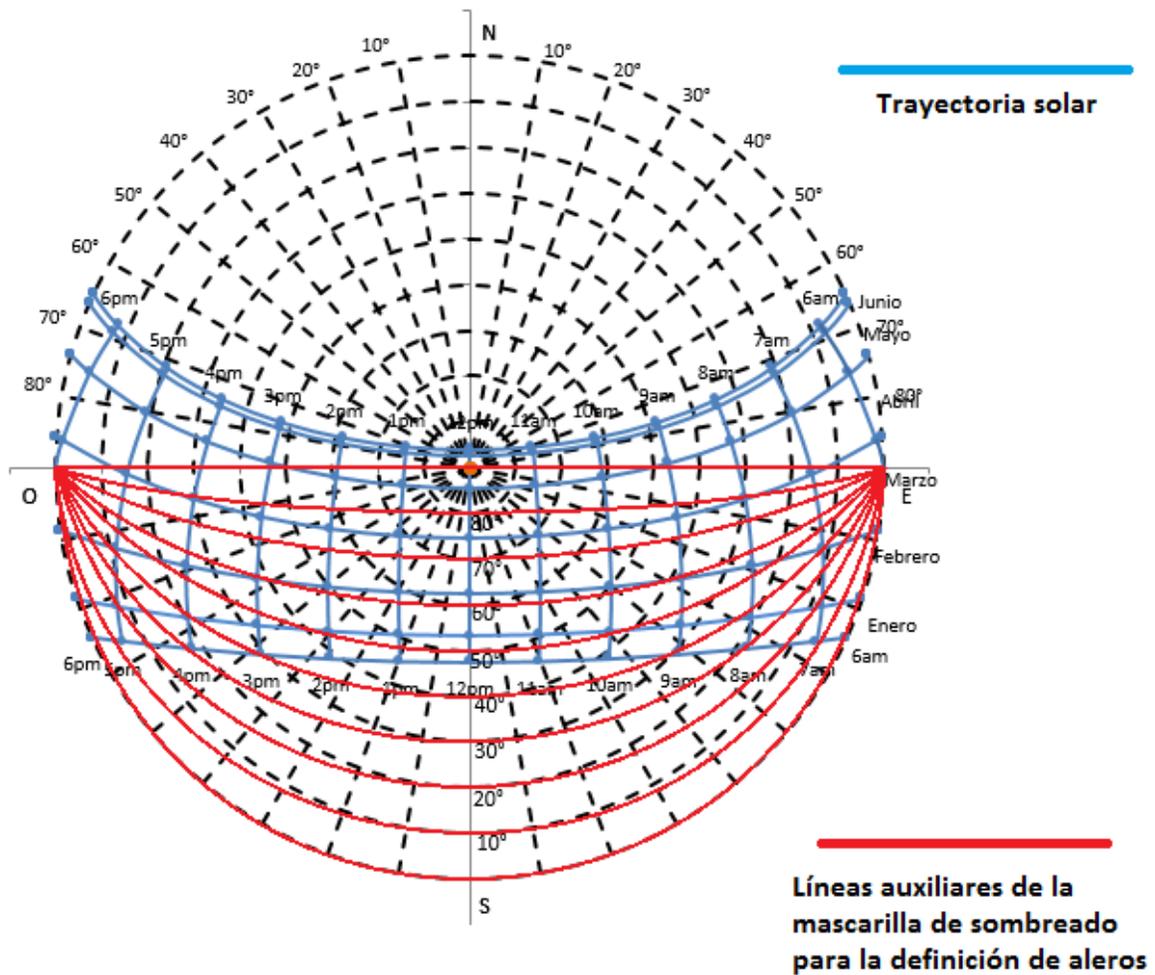


Figura 3.21 Mascarilla de sombreado superpuesta a la gráfica solar para la definición de aleros²⁷

²⁷ Ídem

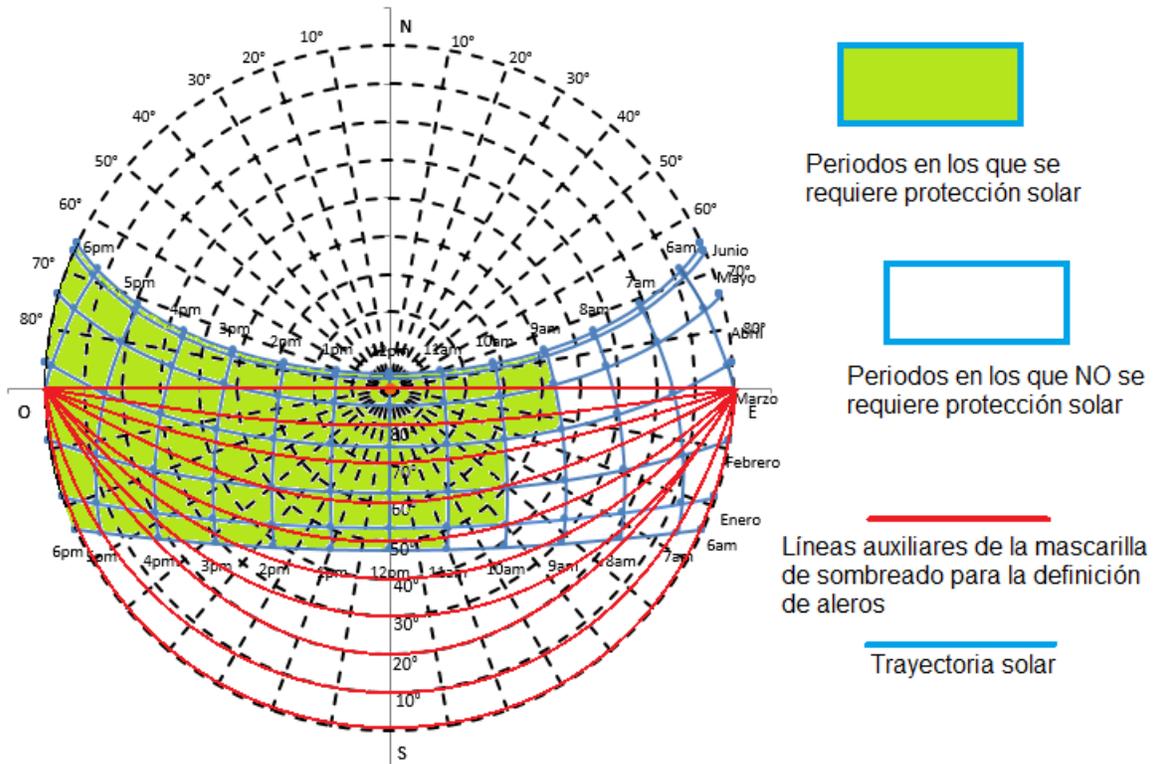


Figura 3.22 Mascarilla de sombreado superpuesta a la gráfica solar, con la representación de los requerimientos de protección, para la definición de aleros²⁸

En la siguiente figura se muestran algunos ejemplos que ilustran cómo se puede identificar qué ángulos de protección se requieren para cada periodo. El ángulo de protección, para los aleros, corresponde entonces al ángulo máximo que cumple con la totalidad de los requerimientos de protección para el periodo correspondiente. Cada una de las líneas de la mascarilla de sombreado representa un ángulo de protección distinto. Así pues, este proceso de selección de los ángulos de protección consiste en un método gráfico.

²⁸ Ídem

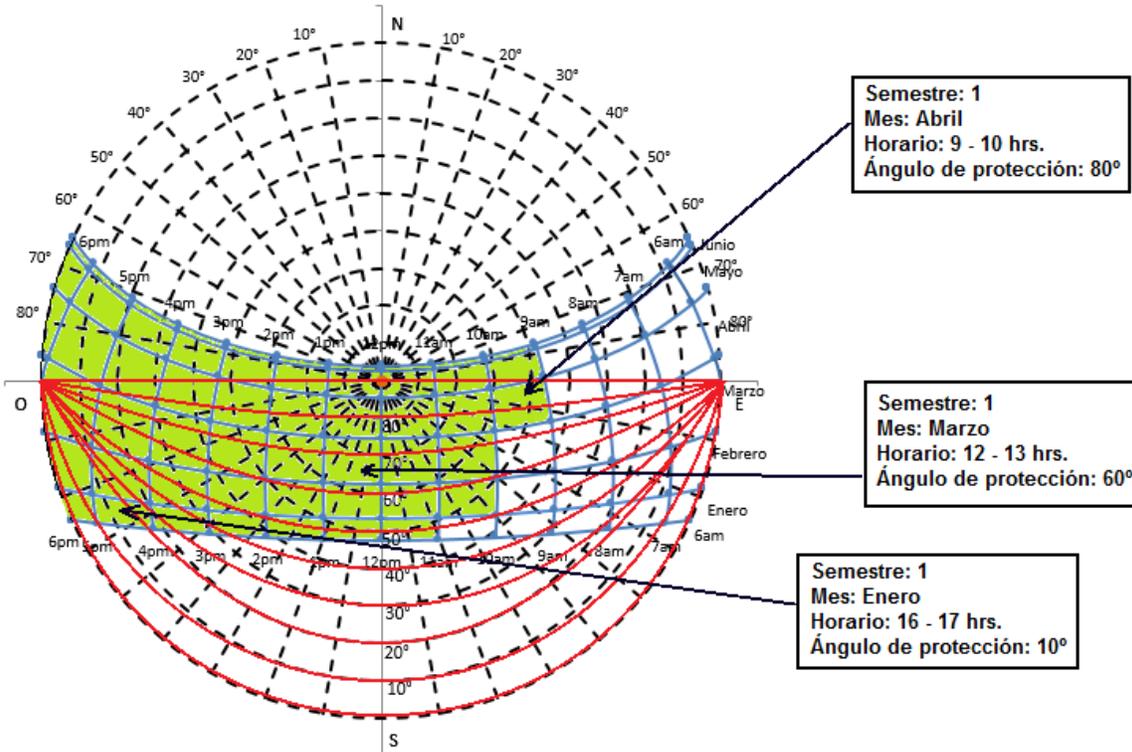


Figura 3.23 Ejemplos para la identificación de ángulos de protección en la gráfica solar estereográfica²⁹

Entonces, la tabla de ángulos de protección horarios constituye la concentración de todos los ángulos requeridos para cada hora del día, y en cada mes del año. Para su elaboración, el diseñador debe analizar, periodo por periodo, qué ángulo de protección corresponde a cada una de las 24 horas de los 12 meses. Así pues, uno a uno, se concentran los datos en una tabla, como se muestra a continuación:

²⁹ Gráfico obtenido a partir del uso del software “BIOSOL”, elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P											
2	N/P											
3	N/P											
4	N/P											
5	N/P											
6	N/P											
7	N/P											
8	N/P											
9	N/P	N/P	N/P	70°	80°	N/P	N/P	80°	60°	40°	N/P	N/P
10	N/P	50°	60°	70°	80°	N/P	80°	70°	60°	50°	40°	40°
11	40°	50°	60°	70°	80°	N/P	80°	70°	60°	50°	40°	40°
12	40°	50°	60°	70°	80°	N/P	80°	70°	60°	50°	40°	40°
13	40°	50°	60°	70°	80°	N/P	80°	70°	60°	50°	40°	40°
14	30°	40°	50°	70°	80°	N/P	N/P	80°	60°	40°	40°	30°
15	20°	30°	50°	70°	N/P	N/P	N/P	80°	60°	40°	30°	30°
16	10°	10°	40°	70°	N/P	N/P	N/P	80°	50°	30°	20°	10°
17	0°	0°	0°	80°	N/P	N/P	N/P	N/P	0°	0°	0°	0°
18	N/P											
19	N/P											
20	N/P											
21	N/P											
22	N/P											
23	N/P											
0	N/P											

N/P = No requiere protección

Figura 3.24 Tabla de ángulos de protección horarios

Por otro lado, identificamos en la gráfica solar los ángulos de protección de los partesoles, con el uso de las líneas auxiliares correspondientes de la mascarilla de sombreado. En las siguientes figuras se ilustra la superposición de la mascarilla de sombreado con la gráfica solar:

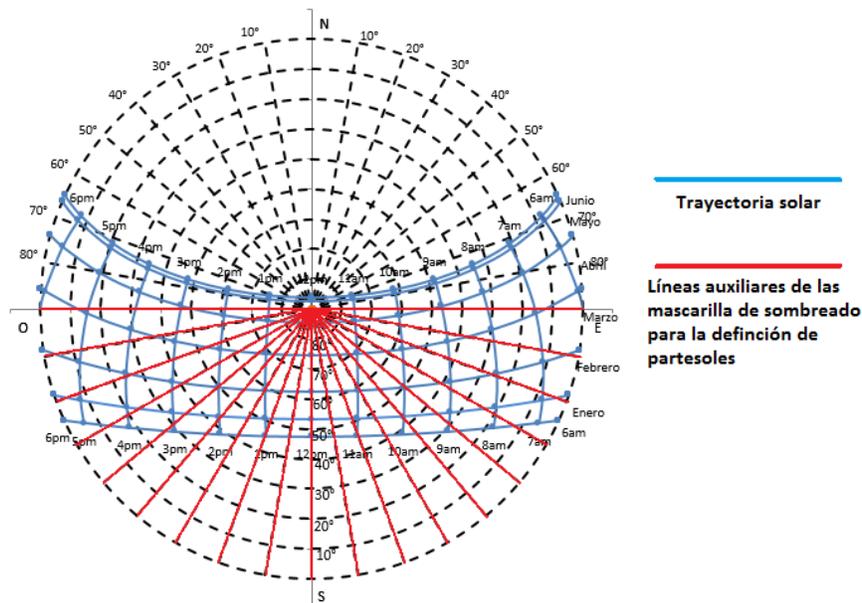


Figura 3.25 Mascarilla de sombreado sobrepuesta a la gráfica solar para la definición de partesoles³⁰

³⁰ Gráfico obtenido a partir del uso del software “BIOSOL”, elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

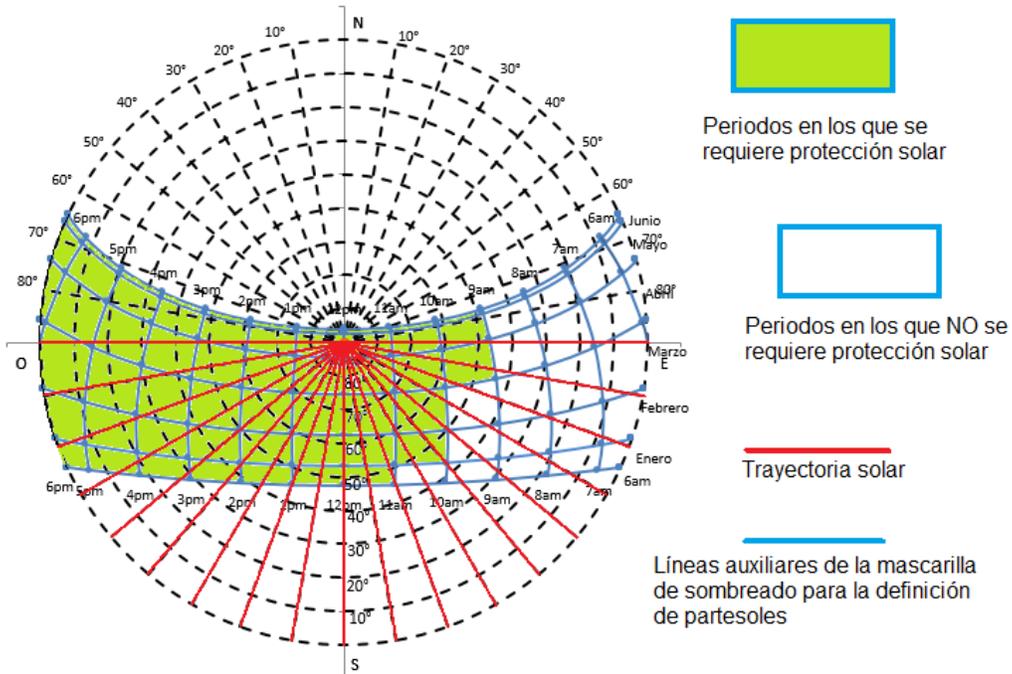


Figura 3.26 Mascarilla de sombreado superpuesta a la gráfica solar, con la representación de los requerimientos de protección, para la definición de partesoles³¹

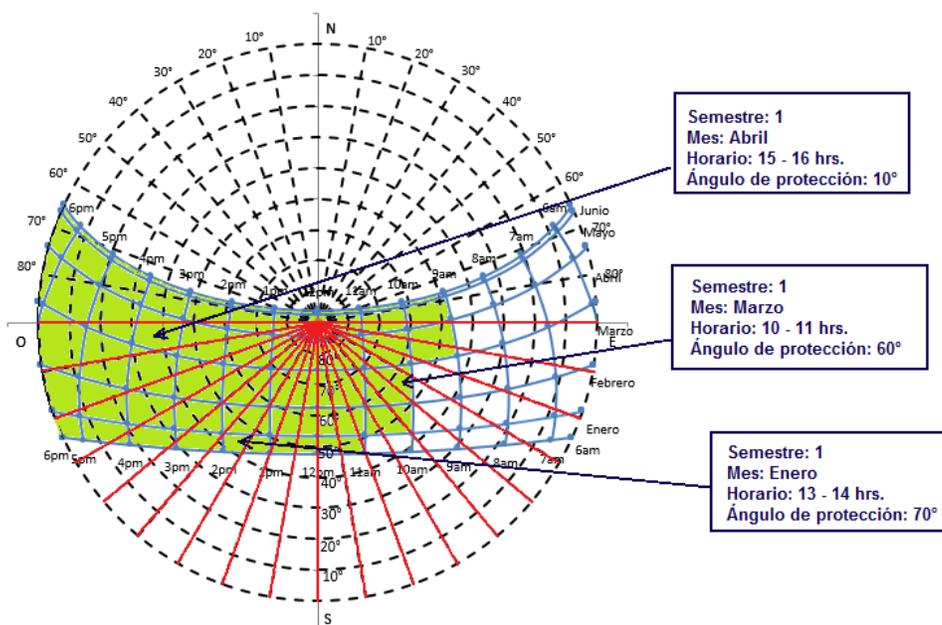


Figura 3.27 Ejemplos para la identificación de ángulos de protección para partesoles en la gráfica solar estereográfica³²

³¹ Ídem

En la figura 3.27 se muestran algunos ejemplos de cómo se pueden identificar los ángulos de protección correspondientes a los partesoles para cada hora del día, en cada mes del año.

Entonces ahora podemos concentrar los ángulos de protección para cada uno de los periodos, como lo hicimos en el caso de los aleros, como se muestra en la siguiente tabla:

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P											
2	N/P											
3	N/P											
4	N/P											
5	N/P											
6	N/P											
7	N/P											
8	N/P											
9	N/P	N/P	N/P	30°	10°	N/P	N/P	20°	40°	N/P	N/P	N/P
10	N/P	70°	60°	50°	20°	N/P	10°	40°	60°	50°	70°	70°
11	90°	90°	90°	90°	90°	N/P	90°	90°	90°	90°	90°	90°
12	90°	90°	90°	90°	90°	N/P	90°	90°	90°	90°	90°	90°
13	70°	70°	60°	50°	60°	N/P	10°	40°	60°	70°	70°	70°
14	60°	50°	40°	30°	30°	N/P	N/P	20°	40°	50°	60°	60°
15	50°	40°	30°	20°	20°	N/P	N/P	10°	30°	40°	50°	50°
16	40°	30°	20°	10°	10°	N/P	N/P	10°	20°	30°	40°	40°
17	30°	30°	20°	10°	10°	N/P	N/P	N/P	10°	20°	30°	30°
18	N/P											
19	N/P											
20	N/P											
21	N/P											
22	N/P											
23	N/P											
0	N/P											

N/P = No requiere protección

Figura 3.28 Tabla de ángulos de protección horarios para partesoles

III. Obtención de datos para programación del sistema

Definición de dimensiones y orientaciones horarias para el alero

La etapa que ahora continua corresponde al proceso de diseño en sí mismo. Aquí se determinarán las medidas adecuadas para los elementos de protección solar, así como la trayectoria angular que debe seguir el sistema para lograr un funcionamiento adecuado. Cabe aclarar que ésta es una aportación propia del autor de esta tesis, en la que se reúnen fundamentos básicos de la electromecánica en conjunción con los principios de control solar, ya citados hasta ahora.

³² Ídem

Se ha elegido un mecanismo sencillo conformado básicamente por un bloque fijo (soporte), un rotor, y un bloque móvil (alero abatible) ensamblado al rotor. Como se muestra en la figura:

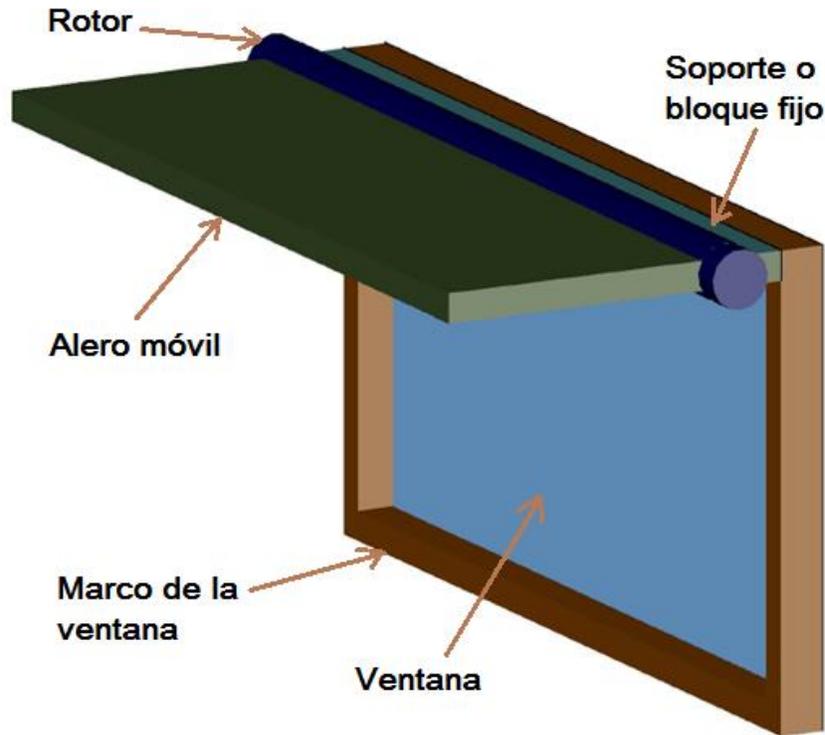


Fig. 3.29 Alero automatizado

Se tienen algunas consideraciones para definir la configuración del mecanismo. Se propone un alero abatible de forma rectangular, tal que uno de sus lados tiene la misma magnitud que el lado horizontal de la ventana. El lado complementario, el que se extiende hacia la calle, no tiene una magnitud estrictamente definida, está en función del diseño estético que se busque, de las posibilidades del material y/o de los requerimientos reglamentarios de construcción para cada localidad. Así pues, el diseñador puede definir tal magnitud con cierta libertad.

La placa puede estar acoplada a un motor de control en el lado que da a la ventana. En la forma que se muestra en la figura 3.30:

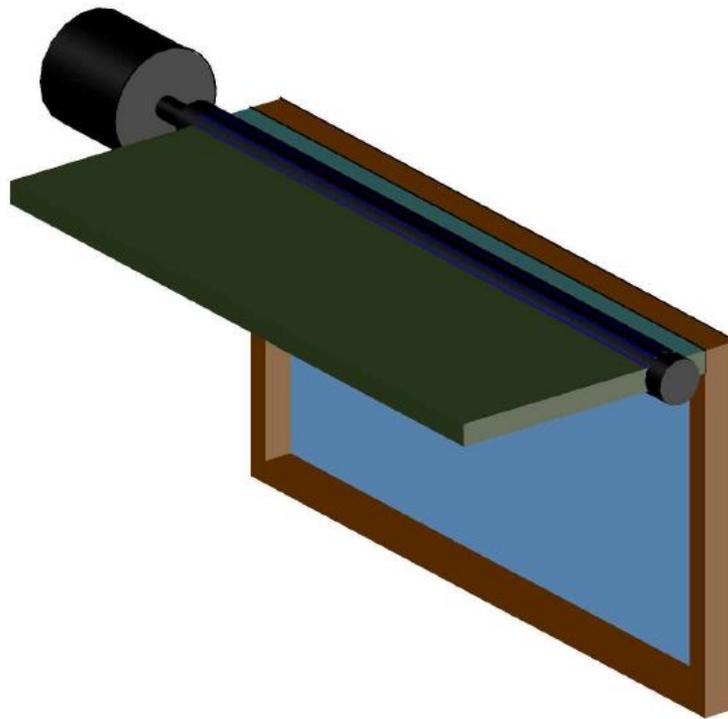


Fig. 3.30 Alero automatizado con un motor ensamblado

Como se puede observar en la figura 3.30, sólo se ha añadido un eje de rotación que permita el abatimiento del alero. La imagen sólo es ilustrativa, ya será trabajo del diseñador idear las formas en que pueda lograrse físicamente dicho ensamble, a partir de lo que se tenga en disposición y de acuerdo a las condiciones de la construcción. Una vez que se ensamble un motor con los ejes alineados, el sistema se convertirá en un sistema activo al funcionar de acuerdo con un movimiento automatizado y en requerimiento de un suministro energético.

Determinación de la posición angular del alero

El ángulo de protección está definido en función de la posición angular del eje del motor. Para encontrar su relación es cuestión de establecer una ecuación que describa las relaciones geométricas de ambos ángulos, utilizando las identidades trigonométricas. Dicha expresión debe asignar un valor angular para el eje del motor (a) a partir de un valor angular para la protección solar requerida (b).

Para poder conformar dicha expresión se hará uso de un esquema auxiliar que facilite la visualización de los lados y ángulos involucrados.

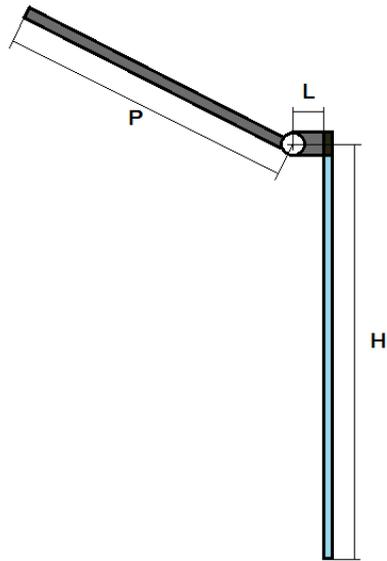


Fig. 3.31 Vista lateral del alero 1

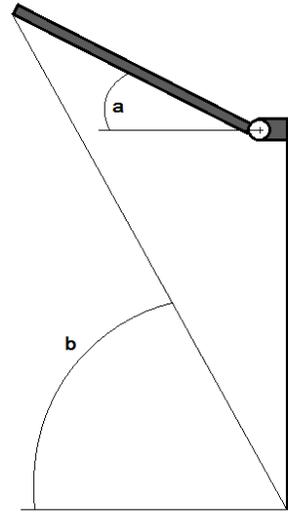
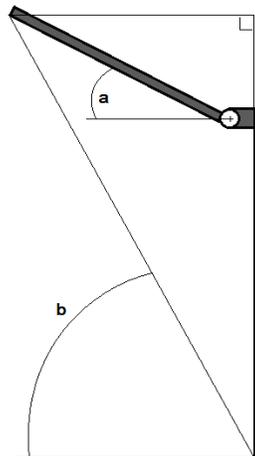


Fig. 3.32 Vista lateral del alero 2

En las figuras 3.31 y 3.32 se muestra un esquema de la ventana, vista de perfil, y con el control activo de protección solar instalado.

Para facilitar el establecimiento de la expresión, es conveniente conformar un triángulo rectángulo y así determinar las reglas trigonométricas que relacionan los elementos de la figura, como se muestra a continuación:



3.33 Relaciones trigonométricas en el alero

A partir de la figura 3.33, podemos apreciar que el cateto en dirección vertical está conformado por la magnitud H más la componente vertical del alero. Por otro lado, el cateto en dirección horizontal está conformado por el largo del soporte del alero más la componente horizontal del alero; finalmente la función trigonométrica que conforma los dos catetos es la función tangente, tal que:

$$\tan(b) = \frac{CO}{CA} \quad (3.1)$$

$$\tan(b) = \frac{\text{cateto en dirección vertical}}{\text{cateto en dirección horizontal}} \quad (3.2)$$

Así, la expresión que modela el comportamiento es el siguiente:

$$b = \text{angtan} \left(\frac{H + M \sin(a)}{L + M \cos(a)} \right) \quad (3.3)$$

Sin embargo, para poder continuar con la metodología necesitamos conformar la expresión de tal forma que:

$$a = f(b) \quad (3.4)$$

Al ser una ecuación trigonométrica, nos auxiliaremos de un software para poder realizar el despeje correspondiente:

$$\text{ecl} := \tan(b) = \left(\frac{H + M \cdot \sin(a)}{L + M \cdot \cos(a)} \right)$$

$$\tan(b) = \frac{H + M \sin(a)}{L + M \cos(a)}$$

solve(ecl, a)

$$\arctan \left(-\frac{-\tan(b) L - \frac{\tan(b) \left(\tan(b) H - \tan(b)^2 L + \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 L^2 - H^2 + 2 \tan(b) L H + M^2} \right)}{\tan(b)^2 + 1} + H}{M} \right), \arctan \left(\frac{\tan(b) H - \tan(b)^2 L + \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 L^2 - H^2 + 2 \tan(b) L H + M^2}}{(\tan(b)^2 + 1) M} \right), \arctan \left(-\frac{-\tan(b) L - \frac{\tan(b) \left(\tan(b) H - \tan(b)^2 L - \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 L^2 - H^2 + 2 \tan(b) L H + M^2} \right)}{\tan(b)^2 + 1} + H}{M} \right), \arctan \left(\frac{\tan(b) H - \tan(b)^2 L - \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 L^2 - H^2 + 2 \tan(b) L H + M^2}}{(\tan(b)^2 + 1) M} \right)$$

Como se puede observar, la función $a=f(b)$ es extensa, y con ello existen altas posibilidades de hacer un mal cálculo. Por lo cual sería conveniente plantear un proceso alternativo de solución.

Con el uso de la función $b=f(a)$, se hará una tabulación con la sustitución de valores de a , donde $-90^\circ \leq a \leq 90^\circ$, tal que a es un número entero. A partir de ello se puede hacer una aproximación para completar la tabla de requerimientos.

Como se muestra en la figura 3.18, es necesario que se determine la magnitud de H , L y P . En donde H , la altura de la ventana, generalmente es una medida ya preestablecida. Y por otro lado, L y P están en función de los espacios, los requerimientos de construcción y, desde luego, de la capacidad de protección solar. Así pues, no existe una única dimensión para desarrollar. Para definir una dimensión, el diseñador puede auxiliarse del diseño asistido por computadora para valorar su apariencia, y puede auxiliarse de hojas de cálculo para determinar si tales medidas cubrirán la totalidad de requerimientos de control solar.

Notas:

- 1) Si la magnitud M es pequeña, es posible que algunos ángulos de protección solar, cercanos a los 0° , no sean factibles de alcanzar. Para cubrir la totalidad de los ángulos de protección solar es necesario que la magnitud M , correspondiente al lado del alero que se extiende hacia el exterior, sea igual o mayor al alto de la ventana, magnitud H .

Es posible que existan otras viviendas cercanas a la edificación en estudio, las cuales cubran las ventanas de la radiación solar en horas donde el Sol se encuentra cercano al horizonte.

- 2) Notar que el signo del ángulo debe cambiar cuando el alero se encuentra por debajo de la horizontal.
- 3) Si $M < H$, pueden existir dos posibles soluciones para cada ángulo de protección, uno en donde el ángulo a es mayor que cero, y otro en donde es menor que cero. Es recomendable utilizar el ángulo positivo, ya que esto permitirá un mayor aprovechamiento de la luz natural.
- 4) A partir de esta tabla, la programación del control del motor se ha simplificado. El diseñador y/o programador sólo tendría que estimar el día que se encuentra en curso para determinar la posición angular que corresponde a tal fecha. Con una sola estructura de control (ya sea *if-else* o *switch-case*) se podría modificar el flujo de ejecución para cada hora del día, y en cada mes del año.

Una vez que el controlador identificara la hora y mes del año en que se está trabajando, sólo se tendría que direccionar a una matriz en la memoria del programa, en la cual se encuentren almacenados cada uno de los ángulos del motor correspondientes a ese horario y fecha, y se elija el indicado

Definición de dimensiones y orientaciones horarias para el partesol

De aquí en adelante, el diseño del partesol abatible tiene un procedimiento muy semejante al del alero. La diferencia radicaré en unas cuantas relaciones geométricas, de las cuales se hará referencia.

La solución que aquí se propone consiste en un bloque rectangular, tal que uno de sus lados tiene la misma magnitud que el lado vertical de la ventana. El lado que se extiende hacia la calle no tiene una magnitud estrictamente definida. Está en función del diseño estético que se busque, de las posibilidades del material y/o de los requerimientos reglamentarios de construcción para cada localidad. Así pues, el diseñador puede definir tal magnitud con cierta libertad.

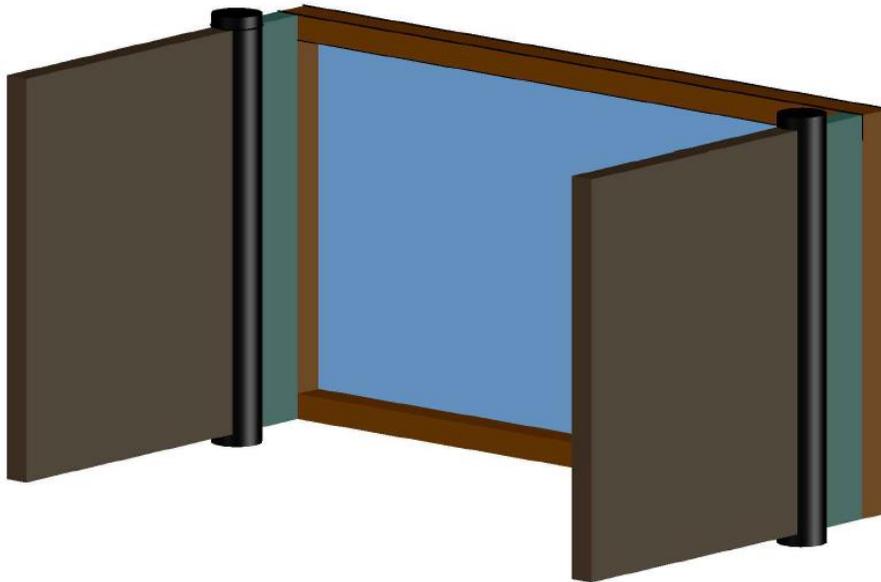


Fig. 3.34 Partesoles automatizados

La placa puede estar acoplada a un motor de control en el lado que da a la ventana. En la forma que se muestra en la figura:

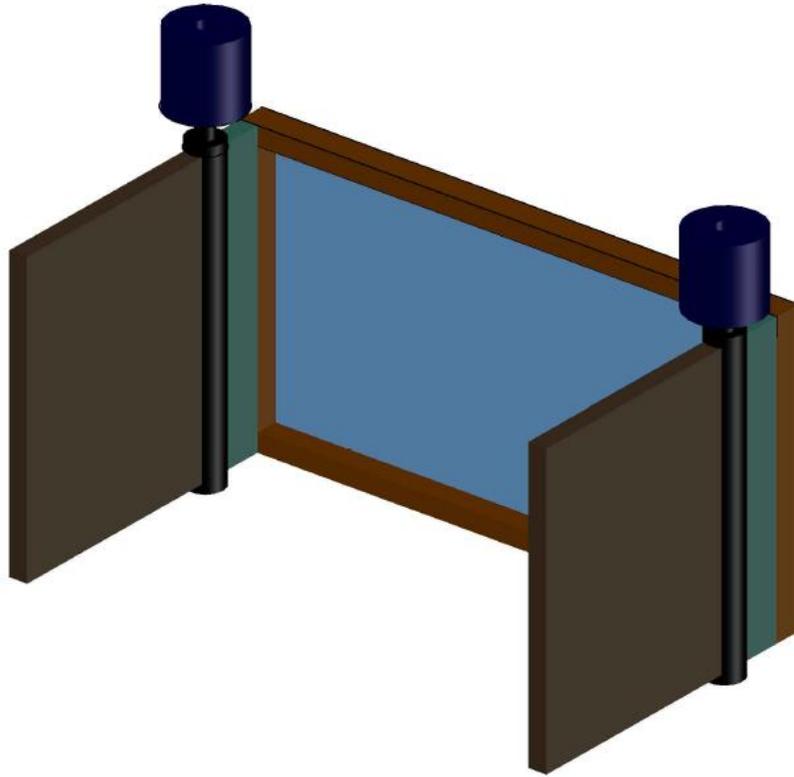


Fig. 3.35 Partesoles automatizados con motores ensamblados

Como se puede observar en la figura 3.35, sólo se ha añadido un eje de rotación que permita el abatimiento del partesol. La imagen sólo es ilustrativa, ya será trabajo del diseñador idear las formas en que pueda lograrse dicha idea, físicamente, a partir de lo que se tenga en disposición y de acuerdo a las condiciones de la construcción. Una vez que se ensamble un motor con los ejes alineados, el sistema se convertirá en un sistema activo al funcionar de acuerdo con un movimiento automatizado y en requerimiento de un suministro energético.

Determinación de la posición angular del partesol

El ángulo de protección está definido en función de la posición angular del eje del motor. Para encontrar su relación es cuestión de establecer una ecuación que describa las relaciones geométricas de ambos ángulos, utilizando las identidades trigonométricas. Dicha expresión debe asignar un valor angular para el eje del motor (a) a partir de un valor angular para la protección solar requerida (b).

Para poder conformar dicha expresión se hará uso de un esquema auxiliar que facilite la visualización de los lados y ángulos involucrados.

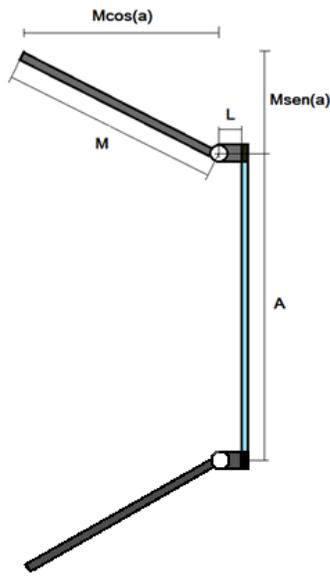


Fig. 3.36 Vista aérea del partesol 1

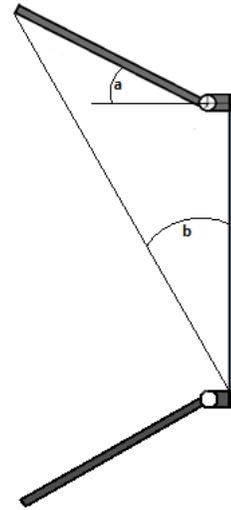


Fig. 3.37 Vista aérea del partesol 2

En la figuras 3.36 y 3.37 se muestra un esquema de la ventana, con vista superior o aérea, y con el control activo de protección solar instalado. El esquema es muy semejante al que se realizó para ilustrar los aleros, pero el lector debe notar que el ángulo de protección tiene una diferente ubicación.

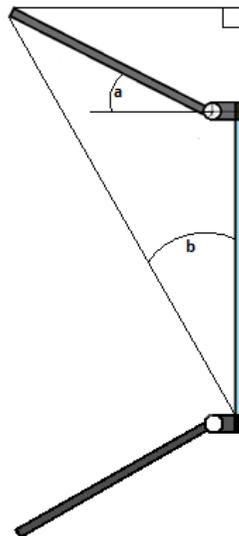


Fig 3.38 Relaciones trigonométricas en el partesol

Para facilitar el establecimiento de la expresión, es conveniente conformar un triángulo rectángulo y así determinar las reglas trigonométricas que relacionan los elementos de la figura, como se muestra a continuación:

De acuerdo con las figuras anteriores, podemos apreciar que el cateto opuesto con respecto de a , del triángulo rectángulo, está conformado por la suma de la magnitud L con $M\cos(a)$; por otro lado el cateto adyacente lo conforma la suma de la magnitud A con $M\sin(a)$.

Tal que:

$$\tan(b) = \frac{CO}{CA} \quad (3.5)$$

Así, la expresión que modela el comportamiento es el siguiente:

$$b = \text{angtan} \left(\frac{L + M\cos(a)}{A + M\sin(a)} \right) \quad (3.6)$$

Como se puede observar, la expresión anterior tiene una semejanza importante con respecto a la expresión que define al ángulo de protección para los aleros. Por lo cual, se puede fácilmente intuir que los resultados al intentar definir $a = f(b)$ serán idénticos, como se muestran a continuación (nuevamente se hace uso de un software para realizar el despeje de la variable a):

$$ec2 := \tan(b) = \left(\frac{L + M \cdot \cos(a)}{A + M \cdot \sin(a)} \right)$$

$$\tan(b) = \frac{L + M \cos(a)}{A + M \sin(a)}$$

$$\alpha = \text{solve}(ec2, \alpha)$$

$$\alpha = \left(\arctan \left(\frac{\tan(b) L - \tan(b)^2 A + \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 A^2 - L^2 + 2 \tan(b) A L + M^2}}{(\tan(b)^2 + 1) M}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\tan(b) A + \frac{\tan(b) (\tan(b) L - \tan(b)^2 A + \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 A^2 - L^2 + 2 \tan(b) A L + M^2})}{\tan(b)^2 + 1} - L}{M} \right), \right. \\ \left. \arctan \left(\frac{\tan(b) L - \tan(b)^2 A - \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 A^2 - L^2 + 2 \tan(b) A L + M^2}}{(\tan(b)^2 + 1) M}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\tan(b) A + \frac{\tan(b) (\tan(b) L - \tan(b)^2 A - \sqrt{\tan(b)^2 M^2 - \tan(b)^2 A^2 - L^2 + 2 \tan(b) A L + M^2})}{\tan(b)^2 + 1} - L}{M} \right) \right)$$

Como se puede observar, la función $a=f(b)$ es extensa, y con ello existen altas posibilidades de hacer un mal cálculo. Por lo cual sería conveniente plantear un proceso alternativo de solución.

A partir del uso de la función $b=f(a)$, se hará una tabulación con la sustitución de valores de a , donde $-90^\circ \leq a \leq 90^\circ$, tal que a es un número entero. A partir de ello se puede hacer una aproximación para completar la tabla de requerimientos.

Notas:

- 1) Si la magnitud M es pequeña, es posible que algunos ángulo de protección solar, cercanos a los 0° , no sean factibles de alcanzar. Para cubrir la totalidad de los ángulos de protección solar es importante hacer un balance entre los ángulos de protección de los aleros y los ángulos de protección de los partesoles.

Es posible que existan otras edificaciones cercanas a la edificación en estudio, de tal manera que las ventanas se encuentren protegidas de la radiación solar en algunas horas de día, en momentos donde el Sol se aprecie cercano al horizonte.

- 2) Notar que el signo del ángulo debe cambiar cuando el partesol se abate hacia el interior de la ventana.
- 3) Si $M < A$, pueden existir dos posibles soluciones para cada ángulo de protección, uno en donde el ángulo a es mayor que cero, y otro en donde es menor que cero. Es recomendable utilizar el ángulo positivo, ya que permite un mayor aprovechamiento de la luz natural.
- 4) A partir de esta tabla, la programación del control del motor se ha simplificado. El diseñador y/o programador sólo tiene que estimar el día que se encuentra en curso para determinar el ángulo que corresponde. Es decir, con una sola estructura de control (ya sea *if-else* o *switch-case*) puede modificar el flujo de ejecución para cada hora del día, y en cada mes del año.

Una vez que el controlador identifique la hora y mes del año en que se está trabajando, sólo se tendrá que direccionar a una matriz en la memoria del programa, en la cual se encuentren almacenados cada uno de los ángulos del motor correspondientes a ese horario y fecha, y se elija el indicado.

Eficiencia en el sistema pasivo.

Para poder realizar una comparación más objetiva, de la utilización del sistema activo con respecto al sistema pasivo, se lleva a cabo el cálculo de la eficiencia para ambos sistemas. Se entiende por eficiencia, en este caso, como el porcentaje de capacidad que tiene un sistema para cumplir con las tareas, tanto de proporcionar sombra en condiciones de calor y de confort, como de dejar pasar la radiación solar en condiciones de frío; para que así también exista el máximo de iluminación natural posible hacia el interior del edificio.

Para cada ángulo de protección se tiene una eficiencia distinta. Por lo cual, en el caso de los sistemas pasivos, se debe buscar el ángulo óptimo a través del cual se obtengan la mayor parte de los requerimientos, tanto de sombra como de soleamiento, según corresponda.

Morillón (2004) plantea un método para efectuar un análisis y poder determinar el ángulo óptimo de un alero o partesol en una cierta fachada. Tal método ha sido incluido en el software BIOSOL (Morillón y Preciado, 2013).

Puede contabilizarse el número de horas en que se requiere protección y se protege y el número de horas en que debería dejarse pasar la radiación solar y se deja pasar, y así encontrar un índice que exprese que tan bien el alero o el partesol protegen a la ventana de la radiación solar y la dejan pasar cuando es necesaria.

Para poder definir el ángulo óptimo de un alero o partesol sobre una cierta fachada, en el software, se sigue el siguiente procedimiento:

- i) Presentar en las gráficas solares equidistantes las horas en que debe existir protección solar.
- ii) Determinar la fachada deseada para la aplicación de la protección solar en las hojas “Control solar 1er semestre” y “Control solar 2do semestre” (debe considerarse la misma fachada en ambas hojas)
- iii) En la celda ángulo de alero (o partesol) escribir 40° (o 0° para el caso del partesol) para iniciar la evaluación de la protección.
- iv) Se hace el conteo del número de horas en que se requiere sombra y no tienen protección en cada uno de los meses, y se anotan en el recuadro ubicado a la derecha de las gráficas solares
- v) Se hace el conteo del número de horas en los que se requiere Sol y no hay protección, para cada uno de los meses y se anota en el cuadro del punto anterior.
- vi) Gradualmente, se aumenta el ángulo del alero en 10° y se repite el procedimiento de los incisos iv y v, hasta que llegue a los 90° (50° para partesol)

La eficiencia que se obtiene, a partir del uso del software, se refiere al porcentaje de la radiación que se bloquea a través de la protección solar a lo largo del año. A partir de este dato se puede determinar la cantidad porcentual en la que el sistema activo optimiza el funcionamiento, ya que, a través de la aplicación de las protecciones solares activas, se logra un 100% de eficiencia.

POTENCIAL DE AHORRO TÉRMICO ESTIMADO

Para poder evaluar el potencial de ahorro energético, generado a partir de la implementación de elementos activos de protección solar, se toma como referencia el modelo establecido por la norma oficial mexicana NOM-020-ENER-2011, la cual establece ciertas pautas para restringir la ganancia de calor en los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con el fin de racionalizar el consumo de energía eléctrica que se utiliza en los sistemas de enfriamiento.

Para fines del presente trabajo, a través de esta norma se busca calcular el ahorro energético que se obtendría a partir de la implementación del control solar automático que aquí se presenta.

El proceso, básicamente, consiste en calcular la ganancia de calor que se obtendría sin el uso control solar, después calcular la ganancia de calor que se obtendría con la implementación del control solar, y finalmente, a partir de esos dos valores, obtener el porcentaje de ahorro energético.

La norma establece dos fórmulas para calcular las ganancias al interior de un edificio para uso habitacional, dependiendo del tipo de transmisión de calor. Una de ellas corresponde al cálculo de la ganancia adquirida a través de la radiación; y la otra fórmula al cálculo de la ganancia adquirida a través de la conducción, ya sea por medio de superficies opacas (como las paredes de concreto) o no opacas (como es el caso de las ventanas).

Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, techo y superficie inferior y utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{pc} = \sum_{i=1}^6 \phi_{pci} \quad (3.7)$$

En donde:

i Son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur y 6 es superficie inferior.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación *i*, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{pci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_{ei} - t)] \quad (3.8)$$

En donde:

ϕ_{pci} Es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación *i*, en W.

K_j Es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción, determinado según el Apéndice B, en W/m²K.

A_{ij} Es el área de la porción *j* con orientación *i*, en m².

t_{ei} Es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación *i*, determinada según la tabla 1, descrita en la norma, en °C.

t Es el valor de la temperatura interior del edificio para uso habitacional, que se obtiene de la tabla 1, en °C.

Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes no opacas, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}] \quad (3.9)$$

En donde:

i Son las diferentes orientaciones. 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es

sur, 5 es oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}] \quad (3.10)$$

En donde:

ϕ_{psi} Es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, en W.

j Son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de corrección por sombreado exterior. Una porción típica de una parte no opaca es una pared, de vidrio, o con bloques de vidrio.

A_{ij} Es el área de la porción transparente j con orientación i , en m^2 .

CS_j Es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno.

FG_i Es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según la tabla 1 del Apéndice A, de la norma; en W/m^2

SE_{ij} Es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, determinado según el elemento utilizado para sombrear en la tabla 2, 3, 4 y 5 con valor adimensional entre cero y uno.

Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{M} \quad (3.11)$$

Donde:

K Es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, de superficie, en W/m^2K ;

M Aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente de un edificio para uso habitacional formado por capas homogéneas.

Cálculo del aislamiento térmico de las porciones de la envolvente de un edificio para uso habitacional formado por capas homogéneas

El aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional formado con capas térmicamente homogéneas y perpendiculares al flujo del calor, deben de calcularse con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{\ell_1}{\lambda_1} + \frac{\ell_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ell_n}{\lambda_n} \quad (3.12)$$

Donde:

M Es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en m^2K/W

hi Es la conductancia superficial interior, en W/m^2K . Su valor es 8.1 para superficies verticales, 9.4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo), y 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire o del aire interior al piso).

he Es la conductancia superficial exterior, y es igual a 13 W/m^2K ;

e Es el espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio, en m;

λ Es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, en W/mK .

Configuración propuesta de componentes electrónicos

A continuación se presenta una configuración básica, a modo de propuesta, para ejemplificar la forma en que podría constituirse el sistema electrónico del control solar activo. Primero, comenzaremos por definir un diagrama de bloques que ilustra la secuencia de control.



Figura 3.39 Diagrama de bloques para la configuración electrónica

Como se observa en la figura 3.39, el sistema consta, básicamente de tres etapas. Y, asimismo, es un sistema sin retroalimentación, ya que la secuencia de trabajo está en función del tiempo.

1. Reloj en tiempo real

En esta etapa se registra la hora del día y el mes del año, correspondientes, y se transmiten los datos hacia el controlador, así, cada ejecución se encuentra en función de los datos que se transmitan.

2. Controlador

En esta etapa se traducen los datos recibidos por el contador para definir la posición angular correspondiente a ese momento (más adelante se presenta un algoritmo de programación en el que se propone cómo realizar este proceso).

3. Motor

Se ubica en una cierta posición angular, dependiendo la señal emitida por el controlador; el motor se encuentra físicamente acoplado al alero y/o partesol, y así éstos giran a la par.

1. Selección de componente y conexión.

A continuación se presenta una selección de componentes, existentes en el mercado, a través de los cuales pueden implementarse las funciones que aquí se recomiendan. En la figura siguiente se ilustra dicha selección y la forma en que se interconectan dada uno de los elementos.

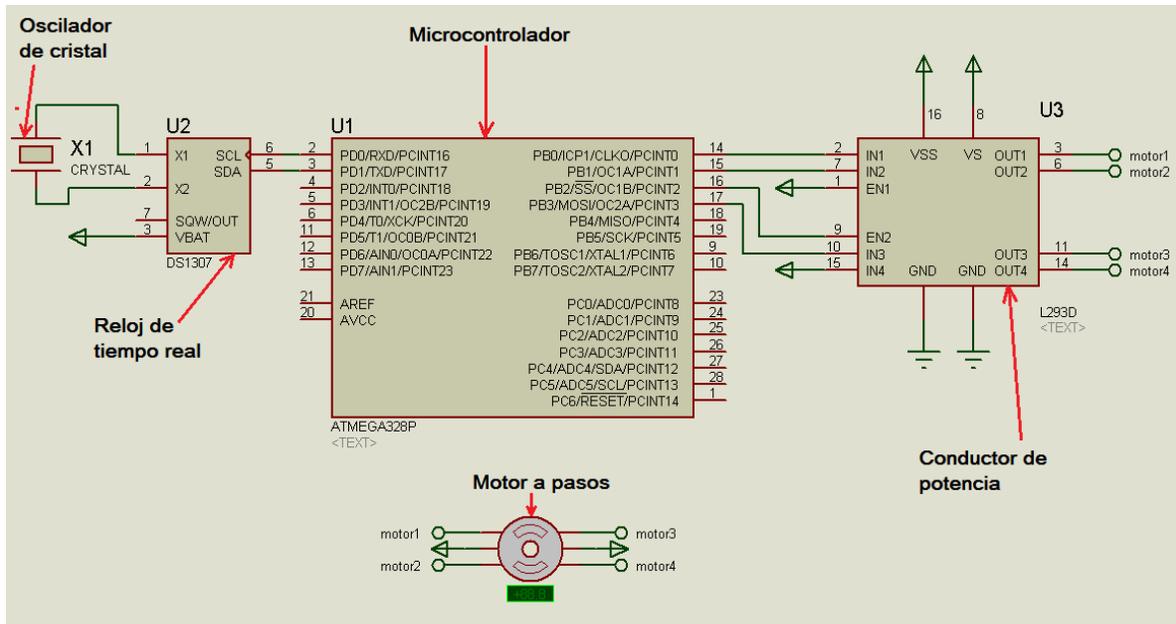


Figura 3.40 Diagrama de conexión

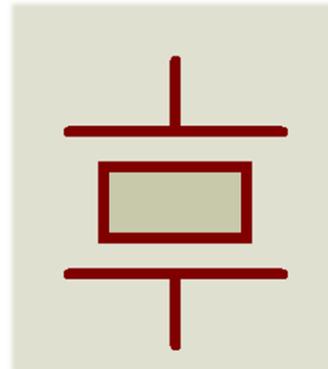
Oscilador de cristal

Se trata de un circuito que genera una señal periódica. Esta señal puede ser una onda cuadrada o sinusoidal. Se caracteriza por su estabilidad de frecuencia y pureza de fase, dada por el resonador. La frecuencia es estable frente a variaciones de la tensión de alimentación. La dependencia con la temperatura depende del resonador.

Dicha señal se transmite hacia el reloj en tiempo real, para marcar una referencia en la medición del tiempo.



Figura 3.41 Oscilador de cristal³³



3.42 Simbología del oscilador de cristal

³³ Imagen tomada de www.elotrolado.net

Reloj en tiempo real

Un reloj en tiempo real (RTC, por sus siglas en inglés, Real Time Clock) es un reloj, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual. Aunque el término normalmente se refiere a dispositivos de cómputo, los RTC's están presentes en la mayoría de los aparatos que necesitan almacenar el tiempo exacto.

Usar un RTC tiene la ventaja de: requerir bajo consumo de energía, liberar de trabajo al sistema principal para que pueda dedicarse a tareas más críticas, y mayor precisión en la medición (en comparación con algunos otros métodos).

En nuestro sistema, el reloj en tiempo real mandará la señal, a través de comunicación serial, hacia el microcontrolador; dicha señal contiene, entre otros datos, la hora del día y el mes de al año en curso.

Se ha seleccionado el Reloj DS13017, por su compatibilidad con el microcontrolador aquí elegido.

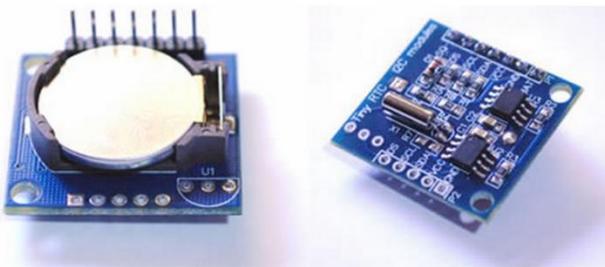


Figura 3.43 Reloj en tiempo real³⁴

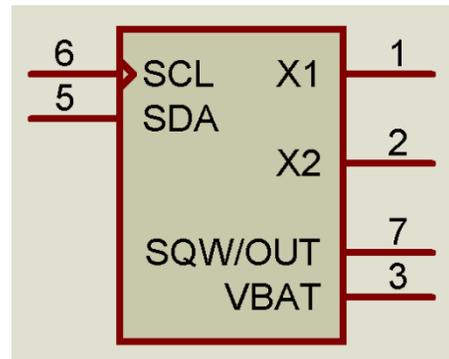


Figura 3.44 Simbología del reloj en tiempo real

Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior

³⁴ Imagen tomada de www.tuelectronica.es

las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

En nuestro ejemplo, hemos considerado un microcontrolador Atmega 328, en su plataforma Arduino Uno.

Para este caso, el microcontrolador se encarga de traducir los datos emitidos por el reloj en tiempo real en señales de movimiento para el motor a pasos, seleccionando la posición angular adecuada para el tiempo correspondiente, y enviando las señales hacia el motor (por medio del conductor de potencia), para que éste se mueva hacia la posición requerida.

Al haber seleccionado un motor a pasos, debe considerarse la secuencia que éstos requieren para tomar una cierta posición, y dependiendo del número de pasos por vuelta que correspondan a dicho motor.

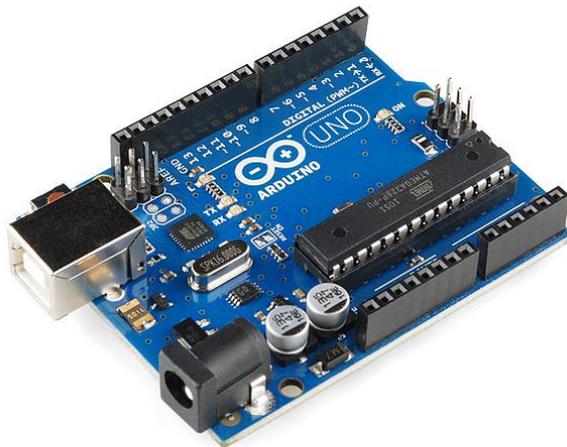


Figura 3.45 Microcontrolador Arduino Uno³⁵

2	PD0/RXD/PCINT16	PB0/ICP1/CLKO/PCINT0	14
3	PD1/TXD/PCINT17	PB1/OC1A/PCINT1	15
4	PD2/INT0/PCINT18	PB2/SS/OC1B/PCINT2	16
5	PD3/INT1/OC2B/PCINT19	PB3/MOSI/OC2A/PCINT3	17
6	PD4/T0/XCK/PCINT20	PB4/MISO/PCINT4	18
11	PD5/T1/OC0B/PCINT21	PB5/SCK/PCINT5	19
12	PD6/AIN0/OC0A/PCINT22	PB6/TOSC1/XTAL1/PCINT6	9
13	PD7/AIN1/PCINT23	PB7/TOSC2/XTAL2/PCINT7	10
21	AREF	PC0/ADC0/PCINT8	23
20	AVCC	PC1/ADC1/PCINT9	24
		PC2/ADC2/PCINT10	25
		PC3/ADC3/PCINT11	26
		PC4/ADC4/SDA/PCINT12	27
		PC5/ADC5/SCL/PCINT13	28
		PC6/RESET/PCINT14	1

Figura 3.46 Simbología microcontrolador Arduino Uno

Conductor de potencia

El circuito integrado I293D nos permite transmitir la señal de control desde el microcontrolador hacia el motor a pasos, con una alimentación independiente, de tal forma que no se dañen los componentes electrónicos anteriores a esta etapa, por la alta cantidad de corriente que demandan este tipo de motores.

³⁵ Imagen tomada de www.arduino.cc



Figura 3.47 Circuito integrado L293D³⁶

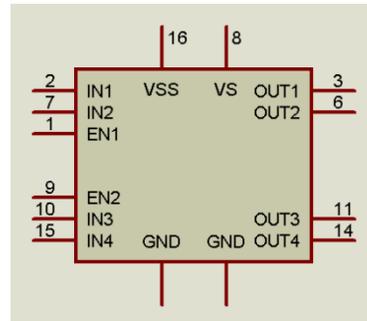


Figura 3.48 Simbología circuito integrado L293D

Motor a pasos

Un motor a pasos puede rotar en ambas direcciones, con la peculiaridad de que puede avanzar incrementalmente en pasos iguales (el mismo ángulo cada vez que se incrementa). Este tipo de motores son usados, generalmente, para tener movimientos más precisos y velocidades controladas; los motores de paso cuentan con un rotor, que es un eje rotacional magnetizado, y estatores, que son electroimanes que rodean al rotor.

Para este ejemplo, se ha seleccionado un motor a pasos unipolar de 6 hilos, que aunque tenga más terminales, los motores de este tipo son más fáciles de manejar por el hardware requerido. En estos motores las bobinas se energizan en una sola dirección, por lo que basta un interruptor o transistor por cada bobina para energizarla.

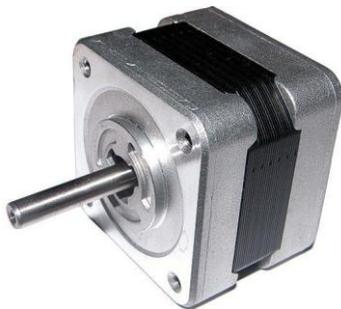


Figura 3.49 Motor a pasos unipolar³⁷

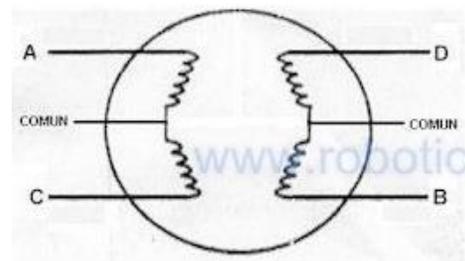


Figura 3.50 Simbología motor a pasos unipolar con 6 hilos

³⁶ Imagen tomada de www.solarbotics.com

³⁷ Imagen tomada de www.culturareviu.com

2. Algoritmo de programación

A continuación se propone un algoritmo de programación aplicable para el control solar, aquí propuesto. Cabe recordar al lector, que un algoritmo de programación es una secuencia de pasos bien definida, ordenada y finita que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos, para llegar a una solución. Dicho algoritmo, debe ser expresado de tal forma que pueda traducirse en cualquier lenguaje de programación, dependiendo la preferencia del programador.

Para el lector que no esté familiarizado con el tema, es preciso mencionarle que la definición del algoritmo de programación es un paso esencial previo en la definición del código de programación, que se graba en el microcontrolador, de tal forma que pueda esclarecerse la secuencia deseada.

ALGORITMO:

1. Inicio
2. Posiciona el motor en cero grados
3. Lee valor del mes y grábalo en la variable *month*.
4. Lee valor de la hora y grábalo en la variable *hour*.
5. Selecciona el valor correspondiente en la matriz de isorrequerimientos, de acuerdo al valor de *month* y *hour* y guárdalo en la variable *angle*.
6. Posicione el motor en la posición *angle*.
7. Fin. Vuelve al paso 3.

Como se observa, el algoritmo, resulta relativamente sencillo. Y esa es una de las razones por las que se ha decidido tomar este método como una solución óptima para el control solar. Ya que, si añadiéramos otros elementos, como los sensores, para determinar la secuencia de movimientos, tanto la programación como la configuración elevarían su nivel de dificultad, así como los costos por construcción y los riesgos de descompostura.

Así mismo, podrían definirse algunas funciones adicionales, a las que aquí se presentan en el algoritmo. En este apartado, sólo se ha presentado lo que realmente es indispensable para el correcto funcionamiento de los dispositivos; sin embargo, no cabe duda que pudieran añadirse otras funciones que optimizarían el proceso, y darían resultados más satisfactorios.

4. CASO DE ESTUDIO: CIUDAD JUÁREZ

A continuación se explica un ejemplo, con el fin de esclarecer cada paso de la metodología. Para ello, se ha escogido como lugar de estudio Ciudad Juárez, Chihuahua; por ser un lugar con uno de los climas más extremos del país. Y por tanto, los resultados ahí podrían ser bastante favorables, a partir de la aplicación del control solar.

I. Identificación de necesidades de protección solar

Datos de temperatura horaria

TABLA 4.1 DATOS DE TEMPERATURA HORARIA (°C)

<i>Hora</i>	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	0	2	6	13	17	21	24	23	19	12	4	0
1	0	2	5	12	16	21	23	22	18	11	4	0
2	-1	1	5	12	15	20	22	21	18	11	3	0
3	-1	1	5	11	15	19	22	21	17	10	3	0
4	-1	1	4	11	14	19	21	20	17	10	3	-1
5	-2	0	4	10	14	18	21	20	17	10	2	-1
6	-1	1	3	9	13	18	21	20	16	9	3	0
7	2	4	4	11	12	16	20	19	18	10	6	3
8	6	8	7	16	14	19	21	21	21	13	11	7
9	10	13	12	20	19	23	25	25	25	17	15	11
10	13	16	16	24	24	28	30	29	29	22	18	14
11	14	17	19	26	28	32	33	32	31	25	19	16
12	14	18	20	27	31	35	35	34	31	26	20	16
13	14	17	21	27	32	36	36	35	31	27	19	16
14	13	16	20	27	32	36	36	35	31	26	18	15
15	11	14	19	25	31	35	35	34	30	25	16	13
16	9	12	17	24	30	34	34	33	28	23	14	11
17	8	10	15	22	28	32	33	32	27	21	12	9
18	6	9	14	20	26	30	31	30	26	19	11	7
19	5	7	12	19	24	29	30	29	24	18	9	6
20	3	6	10	17	23	27	28	27	23	16	8	4
21	2	4	9	16	21	25	27	26	22	15	7	3
22	1	3	8	15	20	24	26	25	21	13	6	2
23	1	3	7	14	18	23	25	24	20	13	5	2

En la Tabla 4.1 se muestran los datos de temperatura horaria para Ciudad Juárez, tomados del *Atlas de Bioclima en México*, de David Morillón (2004):

Zona de confort

Procedemos a la determinación de la zona de confort para cada uno de los meses del año. Tomemos para ello, como ejemplo, el mes de mayo. El mismo proceso se repite para cada uno de los meses.

Temperatura de confort

Como primer paso, determinamos la temperatura de confort T_n . Para ello, empezamos por calcular la temperatura ambiente promedio T_o , la cual, en el mes de Mayo, es igual 21.6 °C. Por lo tanto, tenemos que:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (T_o)$$

Sustituyendo T_o :

$$T_n = 17.6 + 0.31 (21.6)$$

$$T_n = 24.3 \text{ °C}$$

Amplitud de la zona de confort

Si la temperatura máxima promedio para Mayo es de 32 °C y la temperatura mínima promedio es de 12 °C, determinamos que existen 20 °C de variación entre las dos temperaturas, lo cual corresponde a lo que en la tabla 3.1 se denomina Oscilación media de la temperatura del aire. Entonces de acuerdo con ésta, en el mismo renglón, observamos que debe existir una amplitud de la zona de confort (Δt) de 4 °C.

El límite inferior Li de la zona de confort se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Li = T_n - \Delta t$$

Así que, sustituyendo Δt , tenemos que:

$$Li = 24.3 - 4$$

$$Li = 20.3 \text{ °C}$$

De la misma forma se aplica para el límite superior Ls :

$$Ls = T_n + \Delta t$$

$$Ls = 24.3 + 4$$

$$Ls = 28.3$$

En conclusión, tenemos que la zona de confort para Ciudad Juárez, en el mes de mayo, va de los 20.3 °C a los 28.3 °C. Las temperaturas que superen este umbral indican periodos sobrecalentados y las temperaturas que se encuentren por debajo indican periodos fríos. De la misma forma se aplican los cálculos para el

resto de los meses. Los resultados correspondientes a la temperatura de confort para cada mes se muestran a continuación, en la siguiente tabla:

TABLA 4.2 TERMOPREFERÉNDUM O CENTRO DE LA ZONA DE CONFORT PARA CADA MES, EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

Meses	Termopreferéndum	Centro de la zona de confort
enero	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 5.25)$	19.2
febrero	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 7.7)$	20
marzo	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 10.7)$	21
abril	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 17.8)$	23.1
mayo	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 21.6)$	24.3
junio	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 25.8)$	25.6
julio	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 27.4)$	26.11
agosto	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 26.5)$	25.8
septiembre	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 23.3)$	24.8
octubre	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 16.75)$	22.79
noviembre	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 9.8)$	20.64
diciembre	$TP = 17.6 + (0.31 \cdot 6.4)$	19.6

Así también, en la siguiente gráfica se muestran los datos que constituyen la zona de confort para cada mes (termopreréndum, límite superior y límite inferior):

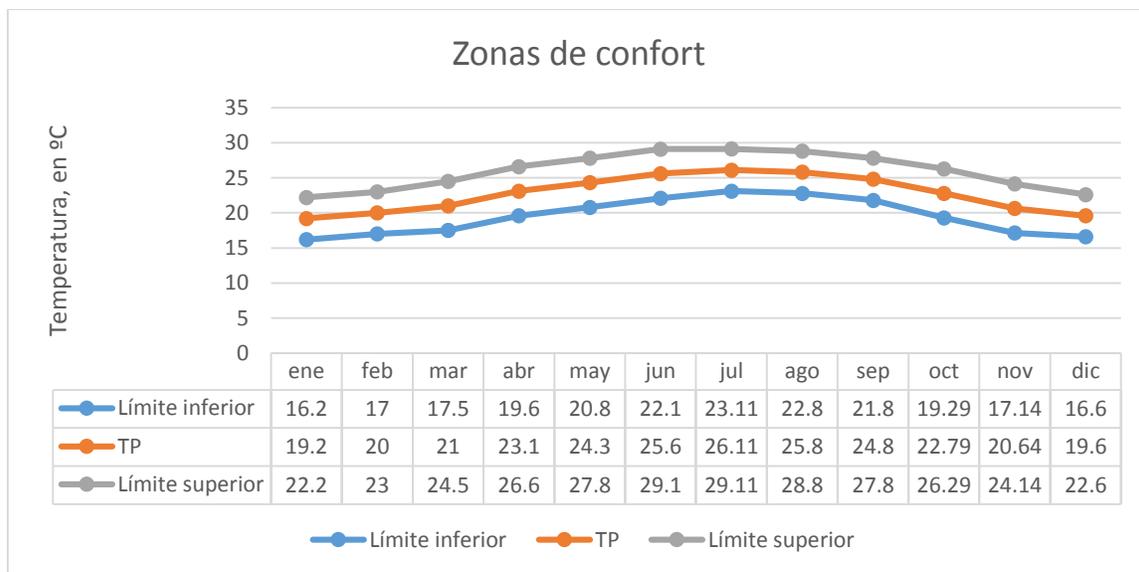


Figura 4.1 Gráfica de temperaturas de la zona de confort

Diagrama de isorrequerimientos

A partir de los datos de temperatura horaria, y de la definición de la zona de confort, se hace una distinción en cada una de las celdas de la tabla, mediante relleno de color, acerca de los periodos en que existen condiciones de frío, calor o confort, tomando como referencia los límites de temperatura que definen dicha zona.

A continuación se presenta el Diagrama de Isorrequerimientos, correspondiente a nuestro ejemplo:

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

Figura 4.2 Diagrama de isorrequerimientos para Ciudad Juárez.

En el Diagrama de Isorrequerimientos (Figura 5.2) se muestran en azul las horas del día en que existen condiciones de frío. En color blanco se muestran las horas en que existe confort. Y en naranja se indican las horas en que se presenta calor.

Hasta aquí se han identificado los requerimientos de climatización preliminares para cada hora del día y en cada mes del año, en Ciudad Juárez.

Gráficas solares estereográficas

A continuación se muestran las gráfica solares estereográficas de Ciudad Juárez, Chihuahua, una para cada semestre del año:

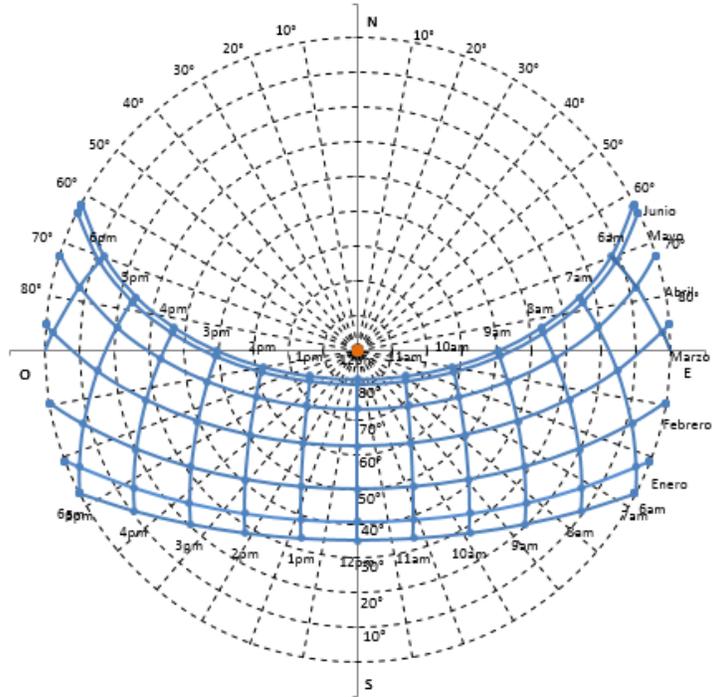


Fig. 4.3 Gráfica solar estereográfica de Ciudad Juárez para el primer semestre³⁸

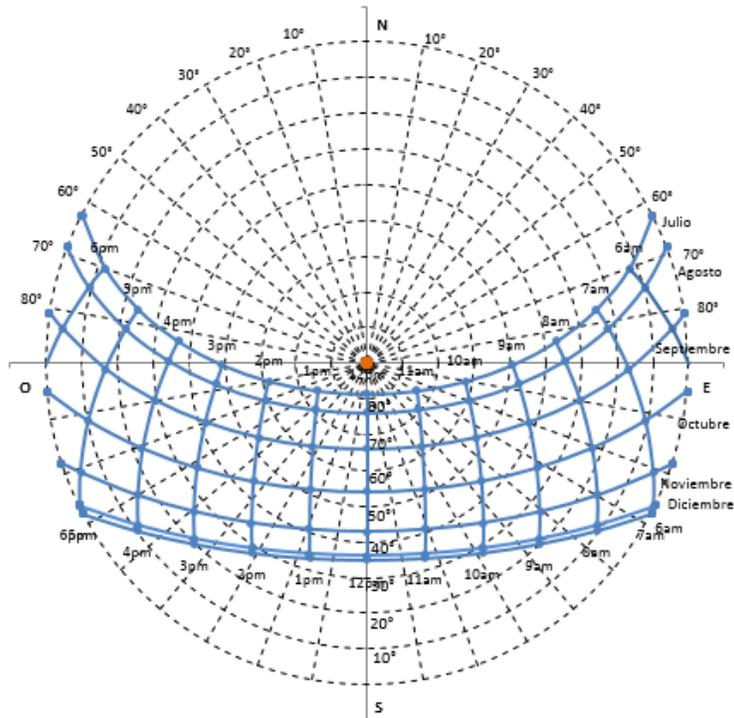


Fig. 4.4 Gráfica solar estereográfica de Ciudad Juárez para el segundo semestre³⁹

³⁸ Gráfico obtenido a partir del uso del software "BIOSOL", elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

Integración de datos del Diagrama de isorrequerimientos en la gráfica solar estereográfica

A continuación concentramos los datos del diagrama de Isorrequerimientos en la gráfica solar de cada semestre, como se muestra a continuación:

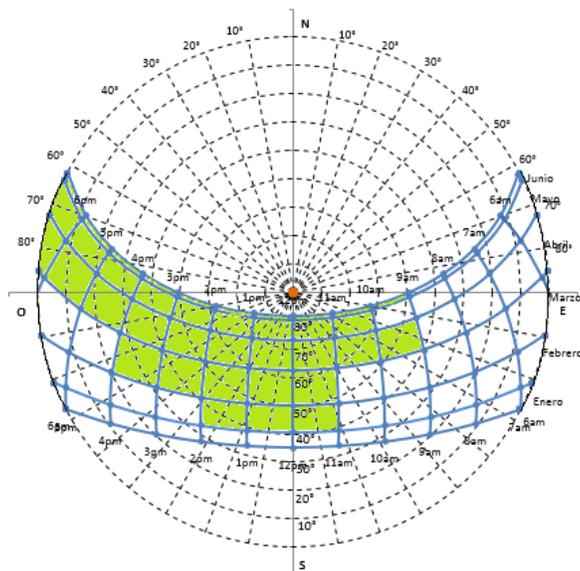


Figura 4.5 Concentración de los datos en la gráfica solar, semestre 1⁴⁰

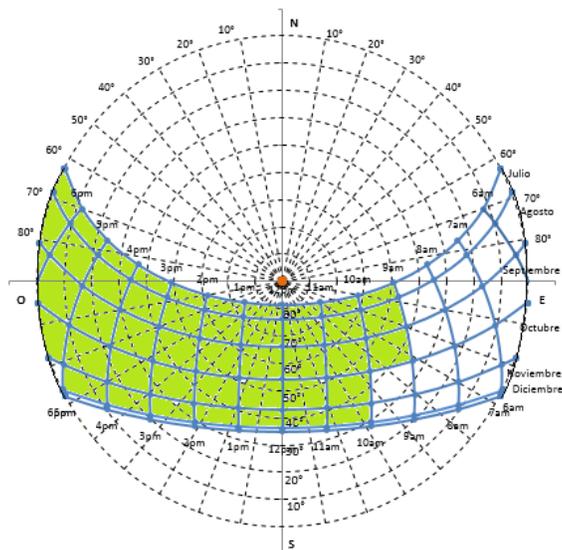


Figura 4.6 Concentración de los datos en la gráfica solar, semestre 2⁴¹

³⁹ Ídem

⁴⁰ Ídem

II. Determinación de los ángulos de protección solar

ALEROS

Comenzamos por la construcción de la gráfica solar con la superposición de las líneas auxiliares de la mascarilla de sombreado para la definición de aleros.

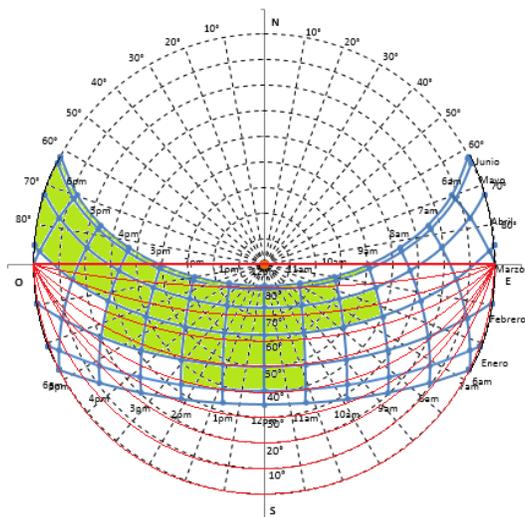


Figura 4.7 Superposición de la mascarilla de sombreado para la definición de aleros, primer semestre⁴²

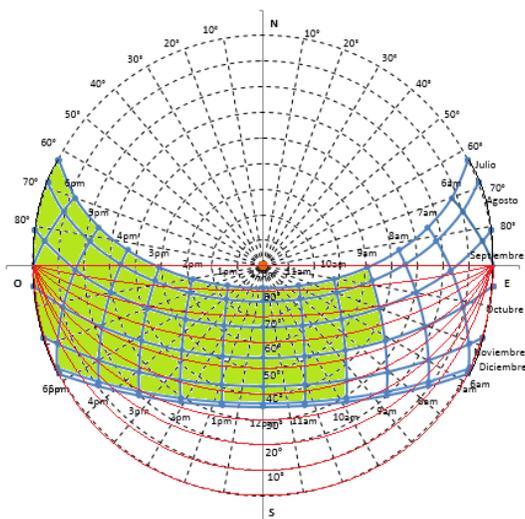


Figura 4.8 Superposición de la mascarilla de sombreado para la definición de aleros, segundo semestre⁴³

⁴¹ Ídem

⁴² Ídem

En color verde se muestran los periodos horarios en que se requiere el uso de protecciones solares, de acuerdo a lo expresado en el diagrama de isorrequerimientos. El lector notará que dichos periodos comprenden los lapsos en que se tienen condiciones de confort y los lapsos en que se tienen condiciones de calor.

Al analizar la trayectoria solar, y los requerimientos de protección, condensados en estos gráficos, podemos notar que las mejores orientaciones para colocar ventanas en Ciudad Juárez son la orientación Norte y la Noreste; en dicha situación la necesidad de protección solar disminuiría.

Con base en estos gráficos, se procede a conformar la tabla de ángulos de protección horarios para la definición de aleros, como se muestra a continuación:

TABLA 4.3 ÁNGULOS DE PROTECCIÓN REQUERIDOS EN LOS ALEROS PARA CADA HORA Y MES

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P											
2	N/P											
3	N/P											
4	N/P											
5	N/P											
6	N/P											
7	N/P											
8	N/P											
9	N/P	N/P	N/P	60°	N/P	80°	70°	60°	50°	N/P	N/P	N/P
10	N/P	N/P	N/P	60°	70°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	N/P
11	N/P	40°	50°	60°	70°	70°	70°	60°	50°	40°	30°	N/P
12	N/P	40°	50°	60°	70°	70°	70°	60°	50°	40°	30°	N/P
13	N/P	30°	40°	60°	70°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	N/P
14	N/P	N/P	40°	60°	70°	80°	70°	60°	50°	30°	30°	N/P
15	N/P	N/P	40°	60°	70°	80°	80°	70°	50°	30°	10°	N/P
16	N/P	N/P	N/P	60°	80°	N/P	N/P	70°	40°	10°	0°	N/P
17	N/P	N/P	N/P	70°	N/P	N/P	N/P	80°	0°	0°	N/P	N/P
18	N/P											
19	N/P											
20	N/P											
21	N/P											
22	N/P											
23	N/P											
0	N/P											

N/P = No requiere protección

PARTESOLES

Ahora continuamos con la construcción de las gráficas solares con la superposición de las líneas auxiliares de la mascarilla para la definición de partesoles.

⁴³ Ídem

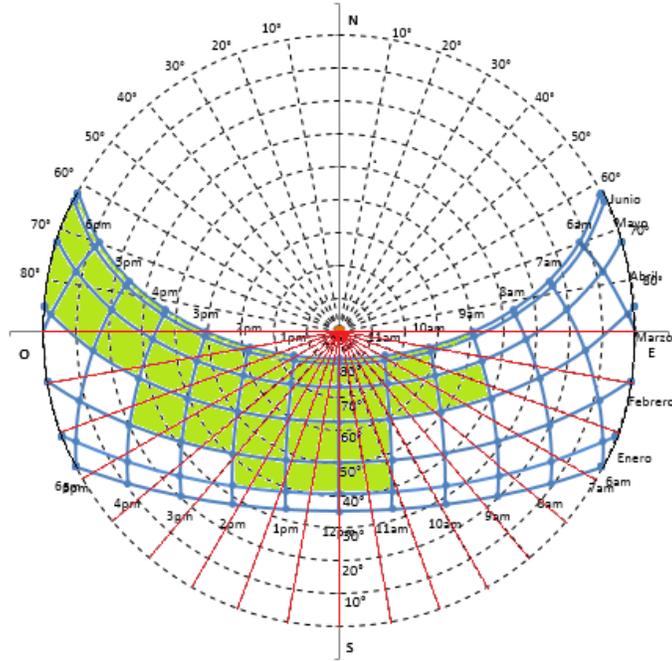


Figura 4.9 Superposición de la mascarilla de sombreado para la definición de partesoles, primer semestre⁴⁴

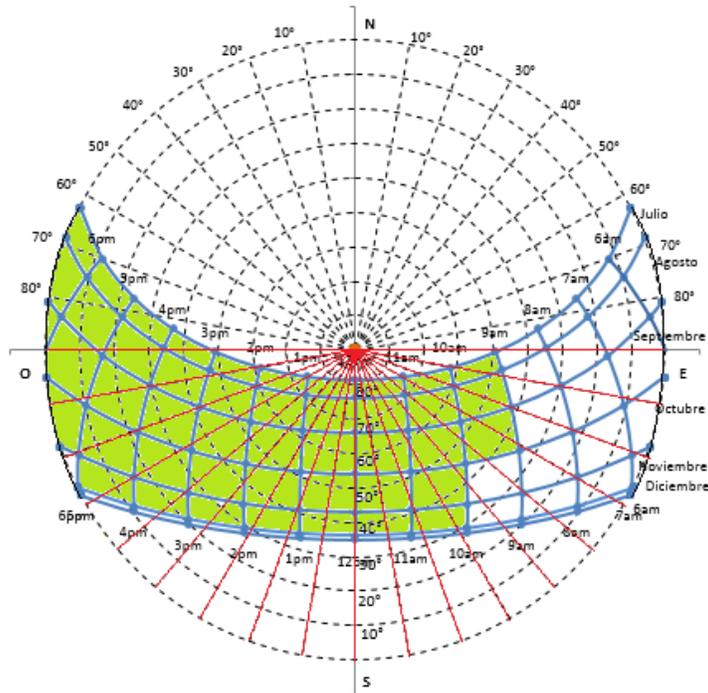


Figura 4.10 Superposición de la mascarilla de sombreado para la definición de partesoles, segundo semestre⁴⁵

⁴⁴ Gráfico obtenido a partir del uso del software "BIOSOL", elaborado por Óscar Preciado Y David Morillón

En base a estos gráficos, se procede a conformar la tabla de ángulos de protección horarios para la definición de partesoles, como se muestra a continuación:

TABLA 4.4 ÁNGULOS DE PROTECCIÓN REQUERIDOS EN LOS PARTESOLES PARA CADA HORA Y MES

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P											
2	N/P											
3	N/P											
4	N/P											
5	N/P											
6	N/P											
7	N/P											
8	N/P											
9	N/P	N/P	N/P	40°	N/P	20°	20°	40°	50°	N/P	N/P	N/P
10	N/P	N/P	N/P	60°	50°	30°	40°	60°	70°	70°	80°	N/P
11	N/P	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	N/P
12	N/P	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	N/P
13	N/P	80°	70°	60°	50°	30°	40°	60°	70°	70°	80°	N/P
14	N/P	N/P	50°	40°	30°	20°	20°	40°	50°	60°	60°	N/P
15	N/P	N/P	40°	30°	20°	10°	10°	20°	40°	40°	50°	N/P
16	N/P	N/P	N/P	20°	10°	N/P	N/P	10°	20°	30°	40°	N/P
17	N/P	N/P	N/P	10°	N/P	N/P	N/P	10°	20°	20°	N/P	N/P
18	N/P											
19	N/P											
20	N/P											
21	N/P											
22	N/P											
23	N/P											
0	N/P											

N/P = No requiere protección

III. Obtención de datos para programación del sistema

Como se ha mencionado, en el diseño puede existir más de una solución. El diseñador deberá elegir las dimensiones adecuadas para los aleros, de tal forma que puedan cubrir la mayor parte de los requerimientos, no sólo de control solar, sino de reglamentación, disponibilidad de materiales, seguridad y estética. Sin embargo, es importante mencionar que se tiene un amplio rango de medidas para escoger.

Para efectos de este tema, la prioridad es determinar un conjunto de dimensiones, a través de las cuales se tenga la capacidad de cubrir un 100% de eficiencia en la protección solar. Si se quisiera validar si tales dimensiones logran cubrir tal porcentaje de eficiencia, bastaría con analizar matemáticamente el dominio de la función que se está generando, a partir de la elección de los valores H, M y L, los

⁴⁵ Ídem

cuales corresponden a las magnitudes que describen el mecanismo (Véase figura 3.29); y verificar que no existan indeterminaciones para cada valor del dominio.

Por simplicidad, en este estudio, se optó por transcribir en una hoja de cálculo las fórmulas que describen la relación entre las variables, y simplemente operar, grado a grado, el rango de valores de ángulos de protección. El programa por sí solo puede indicar si existe alguna indeterminación. En tal caso, pueden entonces modificarse los valores una y otra vez, de forma iterada, hasta llegar a las dimensiones adecuadas.

Entonces se construyen dos tablas, correspondientes a los valores angulares de la trayectoria de cada uno de los componentes, una tabla para los aleros y otra para los partesoles, como se muestra a continuación:

ALERO MÓVIL

A partir de este proceso, se ha determinado los siguiente valores: que H=130 cm., M=150 cm. y L=10cm. (Véase la figura 3.29, en el capítulo, para comprensión de las variables).

TABLA 4.5 POSICIÓN ÁNGULAR PARA LOS ALEROS EN CADA DÍA Y MES

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
2	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
3	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
4	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
5	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
6	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
7	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
8	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
9	N/P	N/P	N/P	38°	N/P	76°	57°	38°	20°	N/P	N/P	N/P
10	N/P	N/P	N/P	38°	57°	76°	57°	38°	20°	2°	-15°	N/P
11	N/P	2°	20°	38°	57°	76°	57°	38°	20°	2°	-15°	N/P
12	N/P	2°	20°	38°	57°	76°	57°	38°	20°	2°	-15°	N/P
13	N/P	-15°	2°	38°	57°	57°	57°	38°	20°	2°	-15°	N/P
14	N/P	N/P	2°	38°	57°	57°	57°	38°	20°	-15°	-15°	N/P
15	N/P	N/P	2°	38°	57°	57°	76°	57°	20°	-15°	-47°	N/P
16	N/P	N/P	N/P	38°	76°	N/P	N/P	57°	2°	-47°	-60°	N/P
17	N/P	N/P	N/P	57°	N/P	N/P	N/P	76°	-60°	-60°	N/P	N/P
18	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
19	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
20	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
21	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
22	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
23	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
0	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P

Cada uno de los valores se obtienen con base en la tabulación mencionada en el capítulo 3, usando la función $b=f(a)$ en una hoja de cálculo.

PARTESOL MÓVIL

Para continuar con el ejemplo, se ha determinado que $M=100$ cm., $A=300$ cm. y $L=10$ cm. Entonces la tabla, con los valores de la posición angular correspondientes al motor, queda de la siguiente manera:

TABLA 4.6 ÁNGULOS DE PROTECCIÓN REQUERIDOS EN LOS PARTESOLES PARA CADA HORA Y MES

HORA \ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
2	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
3	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
4	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
5	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
6	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
7	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
8	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
9	N/P	N/P	N/P	-26°	N/P	41°	41°	-26°	--	N/P	N/P	N/P
10	N/P	N/P	N/P	--	--	13°	-26°	--	--	--	--	N/P
11	N/P	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	N/P
12	N/P	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	N/P
13	N/P	--	--	--	--	13°	-26°	--	--	--	--	N/P
14	N/P	N/P	--	-26°	13°	41°	41°	-26°	--	--	--	N/P
15	N/P	N/P	-26°	13°	41°	68°	68°	41°	-26°	-26°	--	N/P
16	N/P	N/P	N/P	41°	68°	N/P	N/P	68°	41°	13°	-26°	N/P
17	N/P	N/P	N/P	68°	N/P	N/P	N/P	68°	41°	41°	N/P	N/P
18	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
19	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
20	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
21	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
22	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
23	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
0	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P

-- Ángulos que no se pueden definir con las dimensiones asignadas

El lector observará que para este ejemplo existen celdas en las que se ha colocado un par de guiones, en algunos periodos en los cuales también se requiere protección solar. Esto es debido a que existen ciertos ángulos de protección para partesoles que no pueden constituirse de acuerdo con las dimensiones que se han definido. Sin embargo, en tales periodos puede asegurarse la protección solar a través de los aleros, los cuales sí pueden alcanzar cualquier ángulo de protección requerido.

En su implementación el diseñador debe ser cuidadoso en aplicar una protección para ciertos periodos, y la otra en el resto de los periodos. Se recomienda, por ejemplo, que para los periodos cercanos al amanecer o al atardecer, en los que el sol se aprecia más cercano al horizonte, se utilice la protección solar generada por los partesoles. Y por otro lado, se recomienda que en las horas cercanas al mediodía se considere la protección solar que generan los aleros.

Como se puede observar, para el ejemplo aquí propuesto, sólo se requiere utilizar un partesol en el lado oeste, el cual se espera que proteja a la ventana cuando el Sol esté a punto de ocultarse, cerca del atardecer.

Eficiencias en el sistema pasivo para los aleros

Para calcular las eficiencias se hizo uso del software BIOSOL (Preciado y Morillón, 2013). Introduciendo todos los datos de entrada, como se muestra a continuación:

DATOS DE ENTRADA												
Localidad	Ciudad Juárez, Chihuahua			Latitud (xx.xx)	31.74	Longitud (xxx.xx)	-106.49	Altitud [m]	1137			
Introduzca en las celdas en blanco los datos de entrada necesarios												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max [°C]	14	18	21	27	32	36	36	35	31	27	20	16
Temp min [°C]	-2	0	3	9	12	16	20	19	16	9	2	-1
¿Cuenta con datos de humedades relativas medias extremas?				(si/no)			si	Introduzca valores abajo				
HR max [%]	81	77	77	73	68	69	78	78	80	77	77	78
HR min [%]	32	29	30	28	25	26	34	34	36	30	29	29
¿Cuenta con datos de humedades relativas medias?				(si/no)			si					
HR med [%]	59.87	56.33	56.54	51.5	47.12	48.17	56.87	56.83	58.37	62.33	56.29	56.33

Figura 4.11 Datos de entrada para el cálculo de las eficiencias en BIOSOL⁴⁶

Por otro lado, se indica la orientación de la fachada en ambos semestres.

De forma automática se genera todo el análisis. En primer lugar, se calculan las horas totales en que se requiere soleamiento, es decir los periodos fríos; y en segundo lugar, se calculan las horas en que se requiere sombra, es decir la suma de horas en que existe confort y calor. Cabe aclarar que para ambos cálculos sólo se consideran las horas en que se recibe la radiación solar, desde el amanecer hasta el atardecer.

Tabla 4.7 Cálculo de las horas de soleamiento y de sombra⁴⁷

Fachada	Horas en que se requiere soleamiento	Horas en que se requiere sombra
Sur	T1	T2
	2215	2530

⁴⁶ Gráfico tomado del software BIOSOL (Preciado y Morillón, 2013)

⁴⁷ Ídem

Posteriormente, en el software se calculan las horas en que se requiere sombra y no hay protección y, a partir de ello, se obtiene la eficiencia en los periodos con condiciones de calor. Por otro lado, se calculan las horas en que se requiere Sol y no hay protección y, de ello, se obtienen las eficiencias en periodos de frío. En ambos casos se hacen cálculos para cada uno de los ángulos de protección, desde los 40° hasta los 90°, con un incremento de 10°. Como se muestra a continuación:

Tabla 4.8 Cálculo de la eficiencia de los aleros en la fachada Sur⁴⁸

Ángulo del alero [°]	Horas en que se requiere sombra y no hay protección	Eficiencia periodo de calor [%]	Horas en que se requiere Sol y no hay protección	Eficiencia en periodo frío [%]
	K	$EPC=1-(K/T2)$	L	$EPF=L/T1$
40	425	83.20	440.5	19.89
50	813	67.87	635	28.67
60	1120	55.73	742	33.50
70	1424	43.72	988	44.60
80	1880.5	25.67	1018	45.96
90	2541	-0.43	1033	46.64

De forma simultánea se genera un gráfico en el que se puede visualizar el comportamiento que va tomando cada una de las eficiencias conforme se aumenta el ángulo de protección. Esto nos permite determinar cuál es el ángulo óptimo de protección para este caso. Dicho ángulo se ubica en la intersección de las dos rectas.

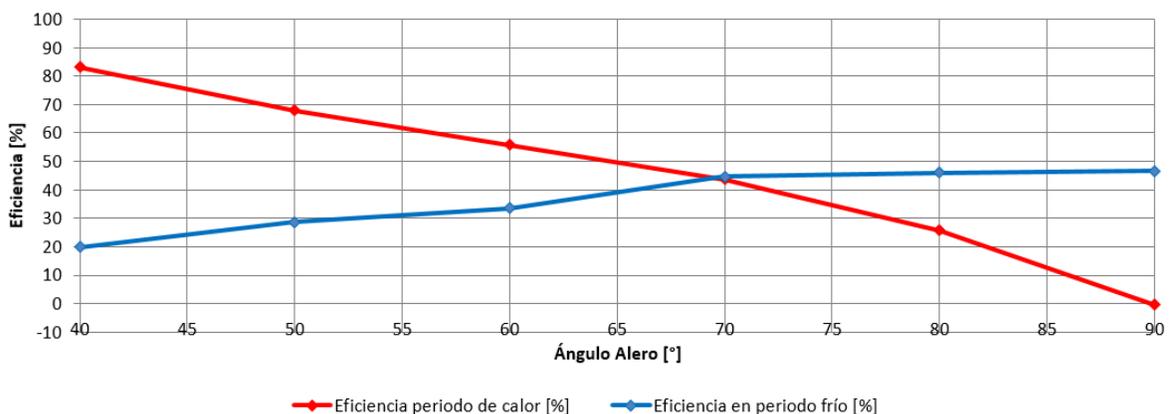


Figura 4.12 Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada Sur⁴⁹

⁴⁸ Ídem

⁴⁹ Ídem

Como se observa en el gráfico, para este caso el ángulo óptimo de protección solar, en el caso de los aleros, se encuentra en lo 69°, lo que corresponde a una eficiencia de 44%, aproximadamente.

Eficiencias en el sistema pasivo para los partesoles

Se sigue un procedimiento semejante para el caso de los partesoles. En este caso, ya no es necesario volver a colocar los datos de entrada en el software, porque son los mismos. Pero si corresponde asegurarse que esté señalada correctamente la orientación de la fachada, para este caso.

A partir de ello, se calculan automáticamente las horas en que se requiere soleamiento, y las horas en que se requiere sombra.

Tabla 4.9 Cálculo de las horas de soleamiento y de sombra⁵⁰

Fachada	Horas en que se requiere soleamiento	Horas en que se requiere sombra
Sur	T1	T2
	2215	2530

A la par de ello, se ha generado la siguiente tabla, que indica las eficiencias en periodos de calor y en periodos de frío, para cada uno de los ángulos de protección del partesol.

Tabla 4.10 Cálculo de la eficiencia de los aleros en la fachada Sur⁵¹

Ángulo del partesol [°]	Horas en que se requiere sombra y no hay protección	Eficiencia periodo de calor [%]	Horas en que se requiere Sol y no hay protección	Eficiencia en periodo frío [%]
	K	$EPC=1-(K/T2)$	L	$EPF=L/T1$
0	2541	-0.43	849	38.33
10	2112	16.52	757	34.18
20	1746	30.99	652	29.44
30	1352	46.56	501	22.62
40	1048	58.58	333	15.03
50	804	68.22	228	10.29

⁵⁰ Ídem

⁵¹ Ídem

Y nuevamente, se genera una tabla, de la cual podemos interpolar el ángulo óptimo de protección solar.

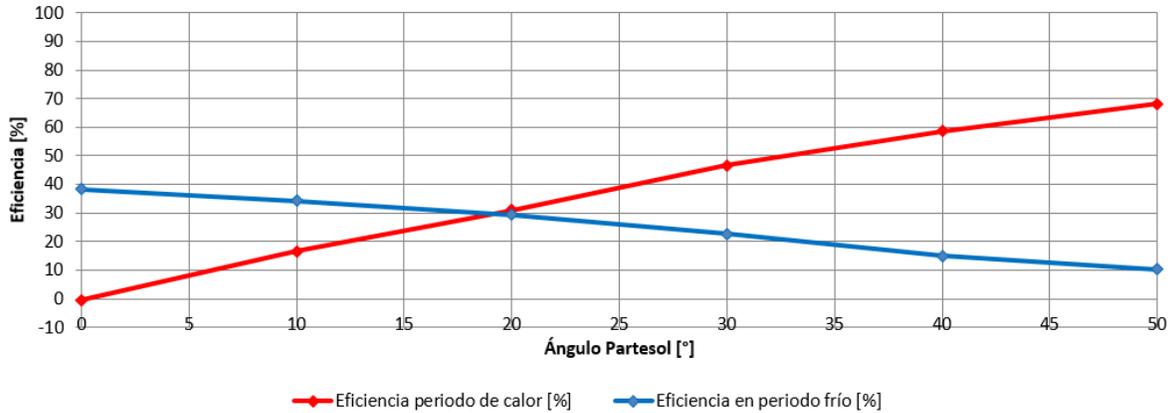


Figura 4.13 Eficiencia de los ángulos del alero en la fachada Sur⁵²

Para este caso se observa que el ángulo óptimo de protección se encuentra en los 18°, lo que corresponde a 30% de eficiencia, aproximadamente.

Comparación de eficiencias entre ambos sistemas.

No se ha hecho un cálculo para determinar la eficiencia que se genera en el caso de los sistemas activos de protección solar, debido a que los sistemas activos tienen prácticamente una eficiencia del 100%. Cada movimiento que se ejecuta, ya sea en los aleros o en los partesoles, se hace en función de la necesidad que se tenga en cada hora del día. Entonces, estas protecciones se ubicarán en el ángulo correspondiente de acuerdo con el ángulo de incidencia del Sol, si es que se tienen condiciones de calor o confort; y se replegarán para dejar pasar completamente la radiación y la iluminación natural, si es que se tienen condiciones de frío.

Por lo tanto, la comparación es sencilla; simplemente se calcula la diferencia entre ambas eficiencias. Así pues, para el caso de los aleros, tenemos una diferencia de 66% de eficiencia, y para el caso de los partesoles, tenemos una diferencia de 70%.

La diferencia es bastante considerable, y en ambos casos la mejoría en la eficiencia rebasa el doble de la proporción.

⁵² Ídem

Potencial estimado de ahorro energético por ganancia de calor adquirida en una vivienda de interés social de Ciudad Juárez

En México, la vivienda se distingue, de acuerdo con la extensión superficial, en cuatro tipos: Interés social, media, residencial y residencia plus. A su vez, la vivienda de interés social se divide en básica, social y económica, como se muestra a continuación:

TABLA 5.1 CLASIFICACIÓN POR SUPERFICIE CONSTRUIDA⁵³

Tipo de vivienda	Promedio de construcción (m2)	
<i>Interés social</i>	Básica	Hasta 30
	Social	De 31 a 45
	Económica	De 45 a 55
<i>Media</i>	De 56 a 100	
<i>Residencial</i>	De 101 a 200	
<i>Residencial plus</i>	Más de 200	

La vivienda de interés social es el tipo de vivienda que tiene mayor demanda en nuestro país⁵⁴. Por lo cual, en este apartado se plantea un prototipo de vivienda de esta clasificación⁵⁵.

Se trata de una edificación en donde la superficie de construcción es de 53.3m², constituida con block de concreto de 0.15m de espesor, aplanados con yeso y recubiertos con una capa de estuco blanco (mortero de cal) en ambos paños, con una losa de 0.1m de espesor a base de concreto armado, la cancelería de ventanas es de aluminio y el vidrio que contienen con un espesor de 0.004m y las puertas exteriores son de multypanel (Figura 5.11 y 5.13).

Cabe resaltar que la geometría de ventanas que se utiliza convencionalmente en este tipo de viviendas de interés social, es cuadrangular, rectangular vertical y rectangular horizontal, por lo que en este caso de vivienda de interés social se localizan en su diseño arquitectónico ventanas situadas en los espacios de la sala y las recámaras con una geometría de ventana rectangular horizontal, en el primer espacio arquitectónico las dimensiones de la ventana es de 1m de alto por 1.44m de largo, la segunda de 1.20m de alto por 1.8m de largo, en la cocina se localiza una ventana rectangular de 1m por 1.8m y en el baño una ventana con geometría

⁵³ Tomado de Andrade Andrés, *Diagnóstico del comportamiento térmico, energético y ambiental de la vivienda de interés social en México: Una retrospectiva y prospectiva (2001 – 2012)*

⁵⁴ *Ibíd*em

⁵⁵ Dicho prototipo está tomado de la tesis de Morales Artemisa, *Impacto térmico de la ventana en la vivienda de México: Recomendaciones para el diseño y la orientación.*

rectangular horizontal o apaisada con dimensiones de 0.54m de ancho por 0.8m de alto. (Figura 5.14).

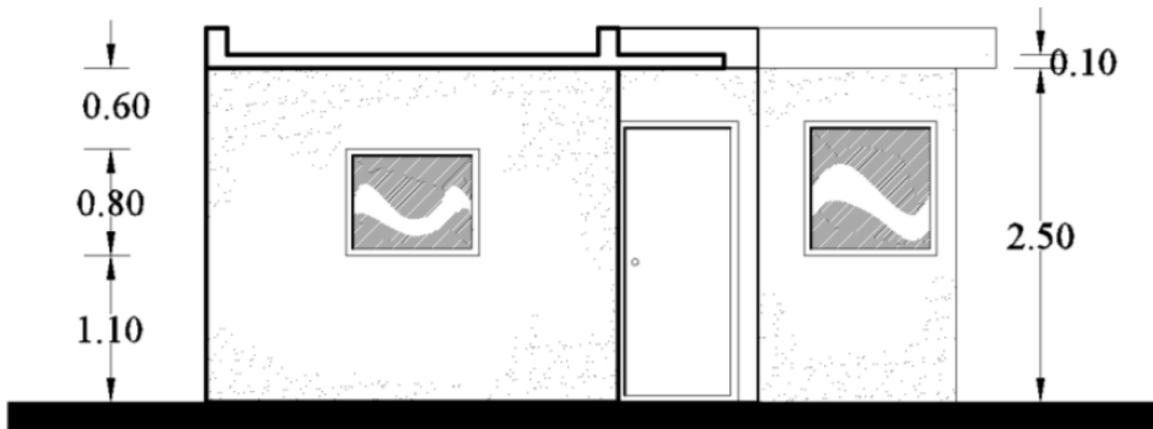


Figura 5.1 Fachada principal de vivienda de interés social⁵⁶

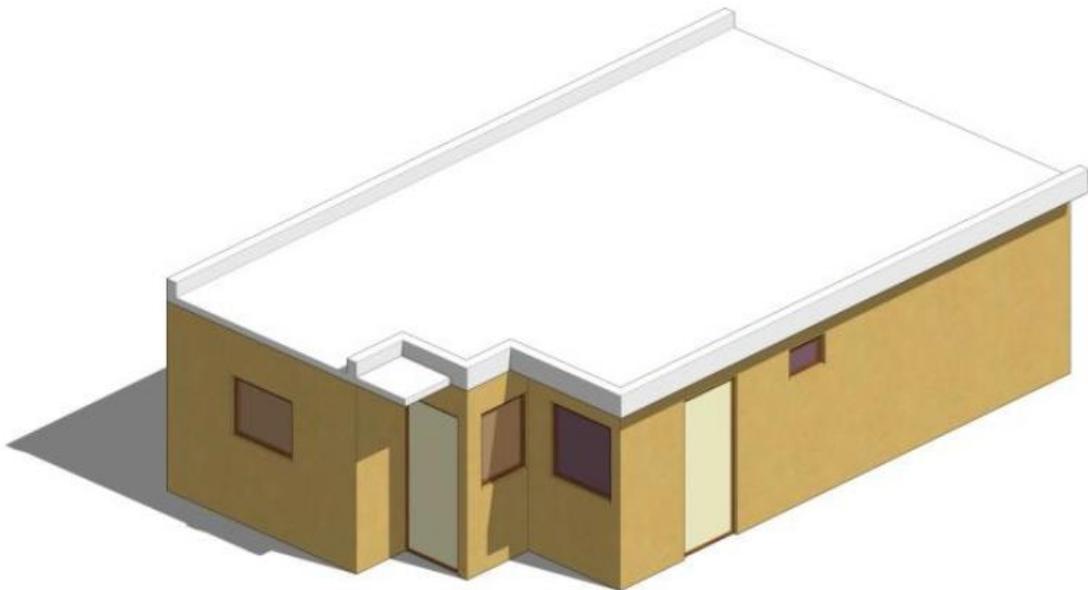


Figura 5.2 Perspectiva de la vivienda de interés social⁵⁷

⁵⁶ Imagen tomada de la tesis de Morales Artemisa, *Impacto térmica de la ventana en la vivienda de México: Recomendaciones para el diseño y la orientación.*

⁵⁷ *Ibíd*em

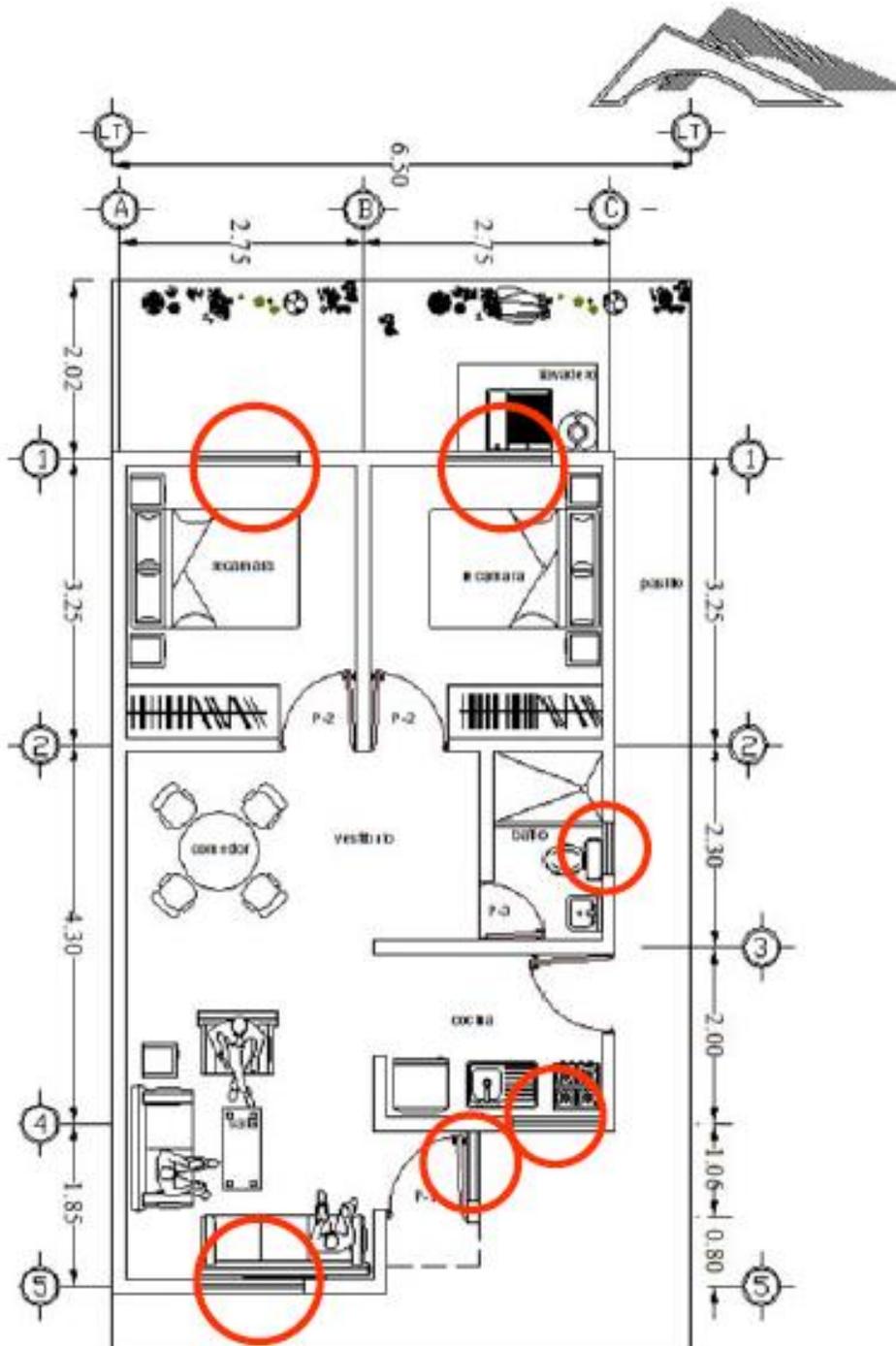


Figura 5.3 Planta arquitectónica de la vivienda de interés social con localización de las ventanas⁵⁸

Aplicación de la norma

⁵⁸ *Ibíd*em

La aplicación de la norma permite, no sólo limitar la cantidad de ganancia de calor admisible para un determinado edificio, sino también nos permite estimar el nivel de ahorro energético que se logra a partir de la definición de ciertos materiales, ubicación y dimensiones para cada uno de los elementos que componen la envolvente.

La norma establece una serie de fórmulas y criterios que nos permiten poder calcular la ganancia total de calor que se adquiere a través de la envolvente de la vivienda. Existen dos formas mediante las cuales ocurre dicha transferencia entre la vivienda y el ambiente exterior: A través de la conducción y a través de la radiación.

Por un lado, la conducción es un proceso basado en el contacto directo entre los cuerpos que componen la envolvente, sin intercambio de materia, en el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

Por otro lado, la radiación es un fenómeno que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas (rayos UV, rayos gamma, rayos X, etc.) o partículas subatómicas a través de un medio material, en este caso emitidas por el Sol. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y por área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 . Esta radiación se filtra solamente a través de las superficies transparentes, como lo son los cristales de las ventanas, si se tienen las condiciones adecuadas de construcción en los muros

Ahora bien, la implementación de los elementos activos de protección solar, que en este estudio se exponen, nos ofrece la posibilidad de eliminar completamente la ganancia de calor adquirida por radiación. Es ahí donde radica el ahorro energético. Y entonces, la forma de estimar dicho ahorro es calculando la ganancia de calor adquirida por radiación y compararla con la radiación total que se compone por la suma de ambos tipos de transferencia de calor.

Entonces podríamos expresar la estimación del ahorro energético, aplicable solamente para la implementación de sistemas activos, de la siguiente forma:

$$\text{Potencial de ahorro} = \left[1 - \left(\frac{\text{Ganancia total} - \text{Ganancia por radiación}}{\text{Ganancia total}} \right) \right] * 100$$

Tal que:

$$\text{Ganancia total} = \text{Ganancia por conducción} + \text{Ganancia por radiación}$$

En el capítulo 4, se ha explicado el método para calcular la ganancia de calor. Procedemos ahora a realizar los cálculos correspondientes:

Cálculo de ganancia de calor por radiación

Como se señaló anteriormente, la ganancia por radiación se calcula sobre las superficies transparentes, en este caso en las cinco ventanas.

Datos:

Ventana 1 (en la sala, orientación Sur):

A = 1.44 m² Área de la superficie transparente, de acuerdo con las proporciones arriba señaladas

CS = 1 Coeficiente de sombreado de un vidrio translúcido de 3mm⁵⁹

FG = 131 W/m² Factor de ganancia solar promedio correspondiente a Ciudad Juárez con la orientación Sur.

SE = 1.00 Factor de corrección por sombreado exterior, dada L/H = 0.0 (Considerando la inexistencia de un volado sobre la ventana)

Ventana 2 (en una recámara, orientación Norte):

A = 2.16 m² Área de la superficie transparente, de acuerdo con las proporciones arriba señaladas

CS = 1 Coeficiente de sombreado de un vidrio translúcido de 3mm⁶⁰

FG = 70 W/m² Factor de ganancia solar promedio correspondiente a Ciudad Juárez con la orientación Norte.

SE = 1.00 Factor de corrección por sombreado exterior, dada L/H = 0.0 (Considerando la inexistencia de un volado sobre la ventana)

⁵⁹ Dato tomado de *Recomendaciones técnicas para la especificación de ventanas*, Cámara chilena de la construcción

⁶⁰ Ídem

Ventana 3 (en una recámara, orientación Norte):

A = 2.16 m² Área de la superficie transparente, de acuerdo con las proporciones arriba señaladas

CS = 1 Coeficiente de sombreado de un vidrio translúcido de 3mm⁶¹

FG = 70 W/m² Factor de ganancia solar promedio correspondiente a Ciudad Juárez con la orientación Norte.

SE = 1.00 Factor de corrección por sombreado exterior, dada L/H = 0.0 (Considerando la inexistencia de un volado sobre la ventana)

Ventana 4 (en la cocina, orientación Este):

A = 1.8 m² Área de la superficie transparente, de acuerdo con las proporciones arriba señaladas

CS = 1 Coeficiente de sombreado de un vidrio translúcido de 3mm⁶²

FG = 159 W/m² Factor de ganancia solar promedio correspondiente a Ciudad Juárez con la orientación Este.

SE = 1.00 Factor de corrección por sombreado exterior, dada L/H = 0.0 (Considerando la inexistencia de un volado sobre la ventana)

Ventana 5 (en el baño, orientación Este):

A = 0.432 m² Área de la superficie transparente, de acuerdo con las proporciones arriba señaladas

CS = 1 Coeficiente de sombreado de un vidrio translúcido de 3mm⁶³

FG = 159 W/m² Factor de ganancia solar promedio correspondiente a Ciudad Juárez con la orientación Este.

SE = 1.00 Factor de corrección por sombreado exterior, dada L/H = 0.0 (Considerando la inexistencia de un volado sobre la ventana)

⁶¹ Ídem

⁶² Ídem

⁶³ Ídem

Ecuación:

$$\phi_{ps} = \sum_{i=1}^5 \phi_{psi}$$

Tal que:

$$\phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}]$$

Sustitución:

$$\begin{aligned} \phi_{ps} &= [(1.44)(1)(131)(1)] + [(2.16)(1)(70)(1)] + [(2.16)(1)(70)(1)] + \\ &+ [(1.8)(1)(159)(1)] + [0.432(1)(159)(1)] \\ \phi_{ps} &= \mathbf{845.928 W} \end{aligned}$$

Cálculo de ganancia por conducción

En el caso de la ganancia por conducción, sí se realiza el cálculo tanto para las superficies opacas, como para las superficies transparentes.

Datos:

Antes de hacer el resumen de datos, debe calcularse el coeficiente de global de transferencia (k) para los muros el techo, de la siguiente forma:

- a) Coeficiente global de transferencia para los muros.

En la figura siguiente se ilustra la forma en que están constituidos los muros, capa a capa, lo cual se tiene que tomar en consideración para el cálculo. Todos los muros tienen la misma constitución y espesores, por lo cual aplica el mismo diagrama para cada uno de ellos.

Tenemos, entonces que:

$$K = \frac{1}{M}$$

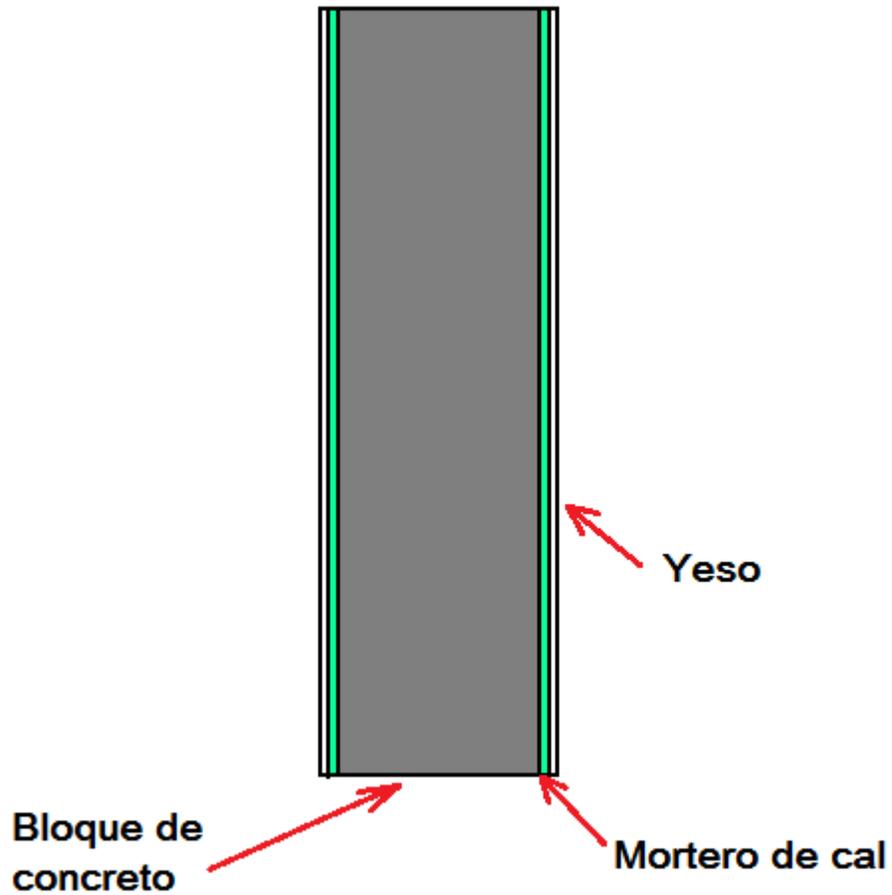


Figura 5.4 Capas que componen el muro de la vivienda prototipo

Tal que:

$$M = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n}$$

Donde:

h_i = 8.1 W/m²K Conductancia superficial interior para superficies verticales

he	= 13 W/m ² K	Conductancia superficial exterior
λ₁	= 0.698 W/mK	Coeficiente de conductividad térmica del bloque de concreto ligero al exterior
λ₂	= 0.698 W/mK	Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de mortero de cal al interior
λ₃	= 0.872 W/mK	Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de mortero de cal al exterior
λ₄	= 0.372 W/mK	Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de yeso
e₁	= 0.15 m	Espesor del bloque de concreto
e₂	= 0.02 m	Espesor del bloque del aplanado de mortero de cal al interior
e₃	= 0.02 m	Espesor del bloque del aplanado de mortero de cal al exterior
e₄	= 0.02 m	Espesor del bloque del aplanado de yeso (sumando el espesor del exterior y el del interior)

Sustituyendo los datos:

$$M = \frac{1}{8.1} + \frac{1}{13} + \frac{0.15}{0.698} + \frac{0.02}{0.698} + \frac{0.02}{0.872} + \frac{0.02}{0.372}$$

$$M = 0.52 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Por lo tanto:

$$K = \frac{1}{0.52}$$

$$K = 1.92 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

b) Coeficiente global de transferencia para el techo

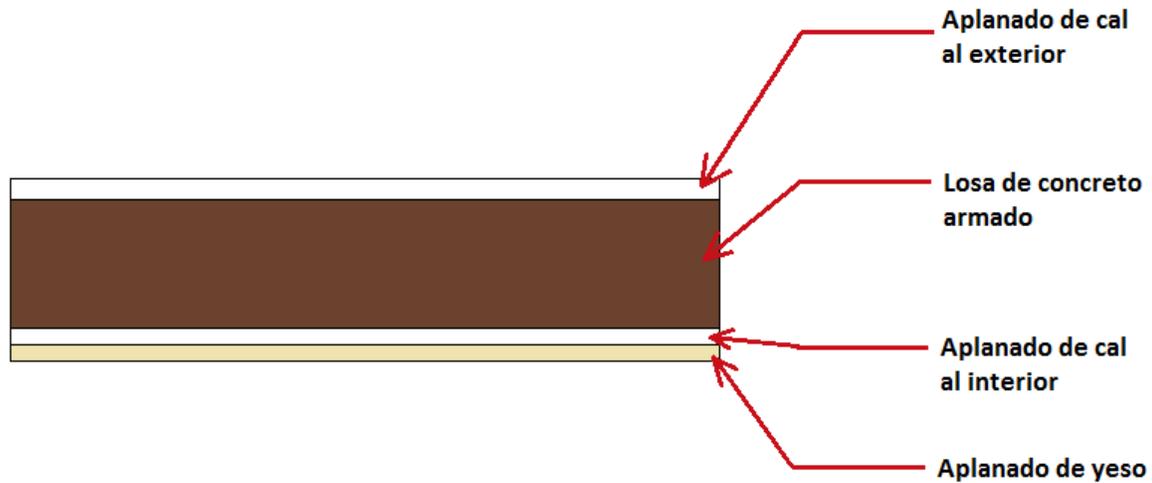


Figura 5.5 Capas que componen el techo de la vivienda prototipo

Donde:

$h_i = 8.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ Conductancia superficial interior para superficies verticales

$h_e = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$ Conductancia superficial exterior

$\lambda_1 = 1.740 \text{ W/mK}$ Coeficiente de conductividad térmica de la losa de concreto armado

$\lambda_2 = 0.698 \text{ W/mK}$ Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de mortero de cal al interior

$\lambda_3 = 0.872 \text{ W/mK}$ Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de mortero de cal al exterior

$\lambda_4 = 0.372 \text{ W/mK}$ Coeficiente de conductividad térmica del aplanado de yeso

$e_1 = 0.1 \text{ m}$ Espesor del bloque de concreto

$e_2 = 0.02 \text{ m}$ Espesor del bloque del aplanado de mortero de cal al interior

$e_3 = 0.02 \text{ m}$ Espesor del bloque del aplanado de mortero de cal al exterior

e₄ = 0.02 m Espesor del bloque del aplanado de yeso (sumando el espesor del exterior y el del interior)

Sustituyendo los datos:

$$M = \frac{1}{8.1} + \frac{1}{13} + \frac{0.1}{1.74} + \frac{0.02}{0.698} + \frac{0.02}{0.872} + \frac{0.02}{0.372}$$

$$M = m^2K/W$$

Por lo tanto:

$$K = \frac{1}{0.363}$$

$$K = 2.75 W/m^2K$$

1. SUPERFICIES HACIA EL TECHO

- Techo

K₁ = 2.75 m²K/W Coeficiente global de transferencia de calor del techo

A₁ = 53.3 m² Área del techo.

t_{e1} = 41 °C Temperatura equivalente promedio para el techo

t = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

2. SUPERFICIES HACIA EL NORTE

- Muro

K₂ = 1.92 m²K/W Coeficiente global de transferencia de calor de los muros

A₂ = 9.43 m² Área del muro en la fachada norte

t_{e2} = 28 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo

con orientación norte

t = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

⇒ $A_2 = \text{área total de la fachada norte} - \text{área de las ventanas hacia el norte}$

$$A_2 = [(2.75 + 2.75)(2.5)] - [(2)(1.2 \times 1.8)]$$

$$A_2 = 9.43$$

○ Ventanas

K₃ = 5.7 W/m²K Coeficiente global de transferencia de calor para un vidrio sódico cálcico con 4 mm de espesor⁶⁴

A₃ = 2.16 m² Área de las dos ventanas orientadas hacia el norte, en este caso, ubicadas en las en las recámaras

t_{e3} = 25 °C Temperatura equivalente promedio para una ventana con orientación norte

T = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

$$\Rightarrow A_3 = (2)(1.2 \times 1.8) = 2.16$$

3. SUPERFICIES HACIA EL OESTE

○ Muro

K₄ = 1.92 m²K/W Coeficiente global de transferencia de calor de los muros

A₄ = 28.55 m² Área del muro en la fachada oeste

t_{e4} = 29 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo con orientación oeste

t = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

$$\Rightarrow A_4 = 11.42 \times 2.5 = 28.55 \text{ m}^2$$

⁶⁴ Fuente: www.centrodecristal.com.ar

4. SUPERFICIES HACIA EL SUR

- Muro

K₅ = 1.92 m²K/W Coeficiente global de transferencia de calor de los muros

A₅ = 8.496 m² Área del muro en la fachada Sur

t_{e5} = 29 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo con orientación Sur

t = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

⇒ $A_5 = \text{área total de la fachada Sur} - \text{área de las ventanas hacia el Sur} - \text{Área de la puerta hacia el Sur}$

$$A_5 = [(2.75 + 2.75)(2.5)] - [(1 \times 1.44) + (1 \times 1.8)] - (1.06 \times 1.9)$$
$$A_2 = 8.496$$

- Ventanas

K₆ = 5.7 W/m²K Coeficiente global de transferencia de calor para un vidrio con 4 mm de espesor⁶⁵

A₆ = 3.24 m² Área de las dos ventanas orientadas hacia el Sur, en este caso, ubicadas en las en la sala y en la cocina

t_{e6} = 27 °C Temperatura equivalente promedio para una ventana con orientación norte

T = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

⇒ $A_6 = (1 \times 1.44) + (1 \times 1.8) = 3.24m^2$

- Puerta

K₇ = 3.3 W/m²K Coeficiente global de transferencia de calor para una puerta de multypanel con 4 cm de espesor⁶⁶

A₇ = 2.014 m² Área de la puerta orientada hacia el Sur, junto a la sala

⁶⁵ Fuente: www.centrodecristal.com.ar

⁶⁶ Fuente: www.ramsaedificaciones.com

t_{e7} = 29 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo con orientación norte

T = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

$$\Rightarrow K_7 = \frac{1}{M}; M = \frac{1}{\lambda} = \frac{0.04}{0.132} = 0.3; K_7 = \frac{1}{0.3} = 3.3$$

$$\Rightarrow A_7 = (1.06 \times 1.9) = 2.014m^2$$

5. SUPERFICIES HACIA EL ESTE

- Muro

K₈ = 1.92 m²K/W Coeficiente global de transferencia de calor de los muros

A₈ = 21.079 m² Área del muro en la fachada Este

t_{e8} = 31 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo con orientación Este

t = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

$\Rightarrow A_8 = \text{área total de la fachada Este} - \text{área de las ventanas hacia el Este} - \text{Área de la puerta hacia el Este}$

$$A_8 = [(9.41)(2.5)] - (0.54 \times 0.8) - (1.06 \times 1.9)$$
$$A_8 = 21.079m^2$$

- Ventanas

K₉ = 5.7 W/m²K Coeficiente global de transferencia de calor para un vidrio con 4 mm de espesor⁶⁷

A₉ = 0.432 m² Área de la ventana orientada hacia el Este, en este caso, ubicada en el baño

t_{e9} = 26 °C Temperatura equivalente promedio para una ventana con orientación Este

T = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a

⁶⁷ Fuente: www.centrodecristal.com.ar

Ciudad Juárez, Chihuahua

$$\Rightarrow A_9 = 0.54 \times 0.8 = 0.432m^2$$

o Puerta

K₁₀ = 3.3 W/m²K Coeficiente global de transferencia de calor para una puerta de multypanel con 4 cm de espesor⁶⁸

A₁₀ = 2.014 m² Área de la puerta orientada hacia el Este, en la cocina

t_{e10} = 31 °C Temperatura equivalente promedio para un muro masivo con orientación Este

T = 25 °C Temperatura interior de la vivienda, correspondiente a Ciudad Juárez, Chihuahua

$$\Rightarrow K_{10} = \frac{1}{M}; \quad M = \frac{1}{\lambda} = \frac{0.04}{0.132} = 0.3; \quad K_{10} = \frac{1}{0.3} = 3.3$$

$$\Rightarrow A_{10} = (1.06 \times 1.9) = 2.014m^2$$

Ecuación:

$$\phi_{rc} = \sum_{i=1}^5 \phi_{rci}$$

Tal que:

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_{ei} - t)]$$

Sustitución:

$$\begin{aligned} \phi_{rc} = & [2.75 \times 53.3 \times (41 - 25)] + [1.92 \times 9.43 \times (28 - 25)] + [5.7 \times 2.16 \times (25 - 25)] \\ & + [1.92 \times 28.55 \times (29 - 25)] + [1.92 \times 8.496 \times (29 - 25)] + [5.7 \times 3.24 \times (27 - 25)] + \\ & + [3.3 \times 2.014 \times (29 - 25)] + [1.92 \times 21.079 \times (31 - 25)] + [5.7 \times 0.432 \times (26 - 25)] \\ & + [3.3 \times 2.014 \times (31 - 25)] \end{aligned}$$

⁶⁸ Fuente: www.ramsaedificaciones.com

$$\phi_{rc} = 2345.2 + 54.3168 + 0 + 219.264 + 65.2493 + 36.936 + 26.5848 + 242.83 + 2.4624 + 39.8772$$

$$\phi_{rc} = 3032.7205 \text{ W}$$

Estimación del ahorro energético

Ecuación:

$$\text{Potencial de ahorro} = \left[1 - \left(\frac{\text{Ganancia total} - \text{Ganancia por radiación}}{\text{Ganancia total}} \right) \right] * 100$$

Tal que:

$$\text{Ganancia total} = \text{Ganancia por conducción} + \text{Ganancia por radiación}$$

Sustitución:

$$\text{Ganancia total} = 3032.7205 + 845.928$$

$$\text{Ganancia total} = 3878.6485 \text{ W}$$

Por lo tanto:

$$\text{Potencial de ahorro} = \left[1 - \left(\frac{3878.6485 - 845.928}{3878.6485} \right) \right] * 100$$

$$\text{Potencial de ahorro} = 21.81\%$$

IMPACTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL POR LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL SOLAR EN CIUDAD JUÁREZ

En el presente capítulo se realiza un estimado del impacto energético y ambiental que genera la utilización de los sistemas de climatización, como el aire acondicionado, por la ganancia excedente de calor por radiación solar a través de las superficies transparentes.

Así pues, se estima el nivel de consumo de energía eléctrica requerida, y también la cantidad de CO₂ producto de la generación de electricidad utilizada por dichos sistemas, en el municipio de Juárez.

En el capítulo anterior ya se ha calculado la ganancia excedente de calor por radiación, en una vivienda de interés social de referencia ($\phi_{psi} = 845.9.928 \text{ W}$).

Como primer paso, se relaciona este excedente de calor con las toneladas de refrigeración equivalentes para contrarrestar dicho sobrante, y posteriormente se convierten las toneladas en Btu/h, a través de la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ tonelada de refrigeración} = 3.5 \text{ kW térmicos} = 12,000 \text{ Btu/h}^{69}$$

Los cálculos se llevan a cabo de la siguiente forma:

$$\text{Excedente} = (0.8459 \text{ kW}) \left(\frac{1 \text{ ton}}{3.5 \text{ kW}} \right) = 0.2417 \text{ tons.}$$

$$\text{Excedente} = (0.2417 \text{ tons}) \left(\frac{12000 \text{ Btu/h}}{1 \text{ ton}} \right) = 2900.544 \text{ Btu/h}$$

En resumen:

Tipo de bioclima	Tipo de vivienda	Excedente de calor en kW térmicos	Ton. de refrigeración	Btu/h
Cálido seco	Básica	0.8459	0.2417	2900.54

⁶⁹ Yunus Cengel, "Termodinámica", Cuarta edición, Ed. Mc Graw Hill, Factores de conversión.

Por lo tanto, el excedente de calor correspondiente al bioclima cálido-seco, para una vivienda de referencia es 2900.54 Btu/h.

Ya que se ha obtenido los Btu/h que equivalen a los kW térmicos productos del excedente de calor por radiación, hacemos uso de las especificaciones de los fabricantes para evaluar el consumo de energía eléctrica que corresponde, y así poder determinar el consumo eléctrico de los acondicionadores de aire para el enfriamiento de interiores. El equipo de enfriamiento tiene una relación de:

$$1,000 \text{ Btu/h} = 0.09333 \text{ kWh eléctricos}^{70}$$

Por lo tanto, las equivalencias para obtener la energía eléctrica consumida para reducir la carga de calor en la vivienda, queda de la siguiente forma:

$$\text{Energía eléctrica consumida} = (2900.54 \text{ Btu/h}) \left(\frac{0.09333 \text{ kWh}}{1000 \text{ Btu/h}} \right)$$

En resumen:

Tipo de bioclima	Tipo de vivienda	Btu/h	kWh eléctricos
Cálido seco	Básica	1348.8	0.271

Ahora, consideremos que los equipos de aire acondicionado estarán trabajando sólo en las horas del día en que se requiera su funcionamiento. Es decir, sólo mientras exista un excedente de calor. Entonces, para estimar el consumo anual, necesitamos determinar el número de horas en el año en que se tienen condiciones de calor, es decir, donde se perciban temperaturas por encima de la zona de confort. Esto se puede lograr a partir del Diagrama de Isorrequerimientos, que se describió en el capítulo 5.

Podemos contar el número de horas por mes en que se tienen dichas condiciones, y multiplicarlo por 30 (número de días promedio en un mes).

Para el ejemplo que se está exponiendo, encontramos que Ciudad Juárez tiene 1380 horas de calor en el año. Así que, si multiplicamos tales horas por el número de kWh eléctricos que se requieren para reducir la carga excedente de calor en

⁷⁰ Ernest Tricomi, "ABC del aire acondicionado", 2002, Ed. Alfaomega,. Pp.28 y 103

cada hora, podemos obtener el total de kWh eléctricos que se consumen por año en una vivienda.

$$\text{Consumo eléctrico en un año} = (1380 \text{ horas})(270.71 \text{ kWh eléctricos})$$

$$\text{Consumo eléctrico en un año} = 173.88 \text{ kWh eléctricos}$$

En resumen:

Tipo de bioclima	Tipo de vivienda	kWh eléctricos	Número de horas por año en que se requiere aire acondicionado	Total de kWh eléctricos que se consumen por año en una vivienda
Cálido seco	Básica	0.271	1380	373.589

El excesivo consumo eléctrico derivado de los equipos de aire acondicionado contribuye al calentamiento global. En México se estima que cerca del 90.1% de la energía eléctrica se genera mediante la quema de combustibles fósiles⁷¹, y esto a su vez repercute en un alto índice de emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera, principalmente CO₂ (el cual es un gas que genera efecto invernadero).

La equivalencia existente entre cada kWh eléctrico y las emisiones de CO₂ es la siguiente:

$$1 \text{ kWh} = 0.50 \text{ kg. de CO}_2^{72}$$

A partir de este índice podemos calcular cuál es la cantidad de CO₂ emitida al ambiente, debida a la ganancia excedente de calor en una sola vivienda tipo básica en el clima cálido seco, por el consumo de energía eléctrica de los sistemas de aire acondicionado.

Entonces, tenemos que:

$$\text{Emisión de CO}_2 = (373.589 \text{ kWh}) \left(\frac{0.5 \text{ Kg. CO}_2}{1 \text{ kWh}} \right)$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 186.79 \text{ kg.}$$

⁷¹ Consumo de energía procedente de combustibles fósiles, <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS>, El Banco Mundial, 2013

⁷² *Apostarle a la electricidad*, El Economista, 19 de Agosto de 2011.

Ahora, podemos hacer una extrapolación sencilla a nivel municipal, en este caso, de acuerdo a nuestro ejemplo, en el municipio de Juárez; considerando el número de viviendas que existen actualmente en esta localidad, como se presenta a continuación en la siguiente tabla:

Número de viviendas en Ciudad Juárez⁷³	Consumo eléctrico por vivienda por año (kWh)	Consumo eléctrico total por el número de viviendas en Ciudad Juárez por año	Emisión de CO₂ por vivienda por año	Emisión de CO₂ total por el número de viviendas en el país por año
342 928	373.589 kWh	128.114 MWh	186.79 Kg.	64.05 mil toneladas

Nota:

Si el lector, interesado en el tema, deseara conocer el nivel de impacto en estos ámbitos, a nivel nacional, tendría entonces que desglosar el consumo de acuerdo al tipo de bioclima en cada localidad, y al final hacer la suma de cada de ellos

⁷³ Censo de población, <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>, Mexico en Cifras, INEGI, 2013

CONCLUSIONES

En este estudio se buscó realizar una aportación en continuidad a los trabajos ya realizados sobre protecciones de control solar, los cuales, a lo largo de los últimos años, se han analizado desde una formación fundamentalmente arquitectónica. La intención ahora ha sido poder aprovechar lo que ya se ha elaborado, y simplemente dar un paso más en la misma dirección, pero con herramientas del ramo ingenieril.

Las protecciones de control solar pasivo generan excelentes resultados en los proyectos relacionados con el ahorro energético de la vivienda. Y aún más, a través de este trabajo se logra apreciar que tal potencial puede llegar a ser más amplio con la adaptación de sistemas activos. Se ha estimado que los resultados pueden llegar a ser muy benéficos para la sociedad y el medio ambiente, si es que llegaran a implementarse.

El presente estudio ha sido construido mediante una serie de investigaciones, cálculos y análisis, de forma escrita. Sin embargo, la construcción física de los modelos, y la posterior medición de los resultados, serán tarea adicional para aquellos interesados en el tema, y bien podrían ameritar ser planteados como proyectos adicionales de investigación y desarrollo.

Alternativas de diseño

Respecto al planteamiento de la metodología, es importante señalar que, como toda secuencia de diseño, existen etapas en el proceso en que el diseñador tendrá que optar por ciertas determinaciones en base a su propio criterio, o en base a las condiciones de la localidad en estudio. Sería difícil pensarse que para un determinado problema o situación existe un único diseño. Si bien se busca que una metodología nos ayude a trabajar en un proceso sistematizado, también es cierto que la creatividad y experiencia del diseñador enriquecerán la constitución del proyecto.

Es posible que algún experto en la ingeniería mecánica, electrónica, o en alguna rama afín, pueda considerar que existen otras posibilidades de solución más sencillas que la aquí presentada, para el problema en cuestión. Y es entendible, ya que, en una gran cantidad de casos, las soluciones más simples tienden a llevarnos al ahorro de recursos materiales y monetarios.

En este caso, como se requiere el movimiento controlado de un dispositivo en función de la trayectoria solar o del ángulo de incidencia de la radiación solar, el ingeniero con experiencia en conocimientos de electrónica, muy probablemente hubiera optado por la construcción de un sistema de movimiento con base en el

uso de sensores ópticos, con la programación de un control PID. Lo cual hubiera podido ser también muy efectivo.

Cada solución tiene sus ventajas y desventajas; es cuestión de que se plantee cuál es la opción más recomendable de acuerdo con la experiencia y conocimiento del propio diseñador.

Algunas de las desventajas que pudieran presentarse con un sistema de movimiento, en base a sensores ópticos, son que: 1) se requeriría un número mayor de componentes electrónicos; 2) habría un aumento en el costo por la compra de materiales; 3) las nubosidades o irregularidades en el ambiente podrían causar desestabilidad en el sistema; 4) tendrían que construirse protecciones para cada uno de los componentes electro-mecánicos, para evitar daños por lluvia, humedad, radiación y viento.

En el control de lazo abierto, como el que se ha presentado en esta tesis, la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de este sistema, entonces, depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. Así, el sistema depende del tiempo, y no de otras variables que pudieran ser difíciles de interpretar o predecir.

Ahorro energético

En cuestión del ahorro energético que aquí se presentó, es importante reiterar que éste corresponde al ejemplo que se desarrolló, con los materiales y magnitudes que también aquí se presentaron; así, el resultado podría cambiar de acuerdo con el valor de dichas variables.

Si se utilizan los mismos materiales y se conserva la proporción de superficies opacas con respecto a las no opacas, el ahorro energético prácticamente sería el mismo.

El porcentaje de ahorro puede cambiar de forma drástica entre los diferentes tipos de bioclima. En la presente tesis se trabajó, para ejemplificar, sobre un clima cálido- seco, el cual resultó un buen sitio de estudio, al presentar amplios cambios de temperatura. Sin embargo, uno de los bioclimas donde el control solar podría llegar a funcionar con más impacto, es el bioclima cálido-húmedo, ya que cuenta con aproximadamente el doble de horas con condiciones de calor, a lo largo del año. Además, por la inmensa extensión costera que existe en nuestro país, se cuenta con una gran cantidad de localidades que se caracterizan por este bioclima.

En la generalidad de los casos, los sistemas de calefacción y aire acondicionado conforman la mayor parte del consumo energético en el hogar, ya que requieren

gran cantidad de potencia para su alimentación, y se mantienen en funcionamiento por largos periodos de tiempo.

El reto en el acondicionamiento de espacios es conseguir la temperatura y humedad ideales y, al mismo tiempo, reducir el consumo de energía.

Reducción de contaminantes

Cada vez que conectamos el aire acondicionado o la bomba de calor estamos contaminando nuestro entorno de forma directa e indirecta. La contaminación indirecta es la producida por las emisiones a la atmósfera de las centrales termoeléctricas que suministran la energía a nuestros hogares y empresas. Para producir energía estas centrales utilizan combustibles fósiles que generan gases de efecto invernadero. Por otro lado, la contaminación directa es la producida por los propios aparatos de aire acondicionado, ya que los gases refrigerantes que necesitan para ejercer su función correctamente, tienen un impacto negativo en la capa de ozono.

La situación actual con respecto a la contaminación del medio ambiente se ha originado desde una inmensa cantidad de actividades, que requieren del uso de maquinaria con consumo energético para su funcionamiento. Por lo cual, sería difícil poder enfrentar este problema desde una única solución. Se requiere de un esfuerzo compartido entre los diferentes grupos sociales, empresariales y/o gubernamentales; y de una gran cantidad de regulaciones y avances tecnológicos que modifique nuestra dinámica de consumo. Y es que todos nosotros somos responsables de ello, porque si bien no realizamos actividades que generan un daño ambiental, si consumimos los productos que son generados por dichas actividades.

La construcción de edificaciones sustentables y el cuidado del medio ambiente se construyen con medidas y estrategias que, de forma aislada, podrían parecer irrelevantes; pero que, en su conjunto, hacen una gran diferencia.

REFERENCIAS

Aliciemis, A., Szokolay, Steven. *Thermal confort*, University of Queensland, Estados Unidos, 1997

Auliciems, A. *Psychological criteria for global zones of building design*, en *Proceedings 9th International Society of Biometereology Conference*. Part 2, Biometereology, Canadá, 1990

Almanza, Rafael. *Ingeniería de la energía solar para la sustentabilidad*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 2013

Andrade Vallejo, Andrés Alfonso. *Diagnóstico del comportamiento térmico energético y ambiental de la vivienda de interés social en México: Una retrospectiva y prospectiva*, UNAM, México, 2007

Baltazar, J. C., y Rodríguez, J. M., Parasol V1. Programa de cómputo para diseño de protección solar, *Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía Solar*, Asociación Nacional de Energía Solar, México, 1997

Boubekri M, Hulliv R B, Boyer L L. *Impact of window size and sunlight penetration on office workers's mood and satisfaction: a novel way of assessing sunlight*, Vol. 23 No. 4, Canadá, 1991

Cañas, I. Martín. *Bioclimatic passive designs rural buildings*. International conference on innovative methods in product design, Venecia, Italia, 2011

Díaz J., Morillón G. *Perspectivas de ahorro de energía en la vivienda de interés social mediante la aplicación de la norma de eficiencia energética: NOM – 020*. Asociación de técnicos y profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE)., México, 1999

Givoni, Barusch, *Man. Climate and architecture*, Applied Science publishers Ltd, Rippled Road Barking, Essex, Inglaterra, 1969

Gómez Azpeitia, G, Grafisol, simulador solar para un diseño energéticamente racional, *Memorias de la XIII Semana Nacional de Energía Solar*, Asociación Nacional de Energía Solar, México, 1989

Gómez, Azpeitia, 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, México, 1991

Herkel Sebastian, Knapp Ulla, Pfafferot Jens. *Towards a model of a user behavior regarding the manual control of windows in office buildings*, Building

and Enviroment Ámsterdam, Holanda, 2008

Koenigsberger, H, Ingersoll, Mayhew y Szokolay, S, *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*, Editorial Paraninfo, Madrid, España, 1997

Matic, Dubravka. *Estrategias de diseño solar para ahorro energético en edificación*. Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2010

Mazria, E, *El libro de la energía solar pasiva*, versión castellana de Rafael Serra Florensa, Ed Gustavo Gili, México, 1983

Mejía Domínguez David, *Diseño y evaluación del control solar en la Arquitectura: Caso de estudio La Paz B.C.S.*, tesis de maestría, UNAM, México, 2002

Morales Hesiquio, Araceli Artimiza. *Impacto Térmico de la ventana en la vivienda de México: Recomendaciones el diseño y la orientación*, UNAM, México, 2011

Morillón, D, *Bioclimática, sistemas pasivos de climatización*, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal, México, 1993

Morillón, J R, y Morillón, D, *Helioarquitectura tapatía, Memorias de la XVIII Semana Nacional de Energía Solar*, Asociación Nacional de Energía Solar, Hermosillo, Son, México, 1994

Morillón, J R y Morillón, D, *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, La Paz, BCS, México, 1995

Morillón, David. *Metodología para diseño y evaluación del control solar en edificios*, UNAM, México, D.F., 2004

Olgay, Víctor y Olgay, Aladar. *Solar control and shading devices*, Princeton, New Jersey, Estados Unidos, 1957

Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Traducción: Frontado Josefina y Clavet Luis, 1ª versión en castellano. Editorial Gustavo Gill, Barcelona, España, 1963

Pérez, V, y Jesús, B, *Guía para el control de asoleamiento en edificaciones, Memorias de la XIX Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, La Paz, BCS, México, 1995

Preciado, Oscar; Morillón David, *Herramientas para el diseño de edificio bioclimáticos: Estudio del bioclima, diseño del control solar y potencial de iluminación natural*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 2013

Quiros, C, 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 edificación*, Venezuela, 1998

Raja, Iftikhar A; Nicol, J. Fergus; McCartney, Kathryn J; Humphreys, Michael A *Thermal confort: use of controls in naturally ventilated building*, Energy and Buildings, Reino Unido, 2001.

Rodríguez, J, La energía solar pasiva, algunas aplicaciones prácticas en arquitectura, *Memorias de la XIV Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, Morelia, Mich, México, 1989

Solís Daniel, *Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado*, Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto, Volumen III, número 3, Sonora México, 2010

Wakely, P. *Diseño y confort térmico en Climas Cálidos. Un texto de aprendizaje para arquitectos*, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 1978.

Zambrano, Perla, *Control solar e iluminación natural en la Arquitectura*, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2013

CONUEE - Secretaría de Energía, *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- envolvente de edificios para uso habitacional*, México, 2011

CONUEE - Secretaría de Energía, *Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- envolvente de edificios no residenciales*, México, 2011

Sitios de internet consultados

“Normales Climatológicas por Estación”, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). <http://smn.cna.gob.mx>, 2013

“México en cifras”, <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>, Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 2013