

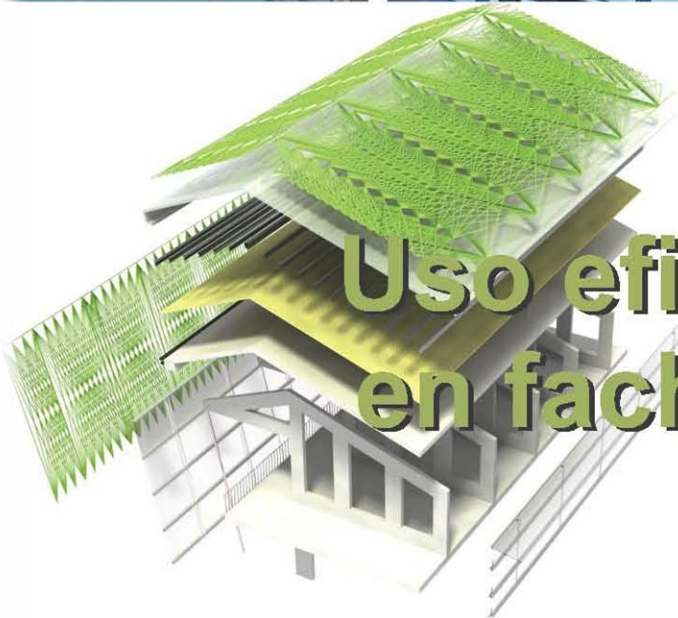
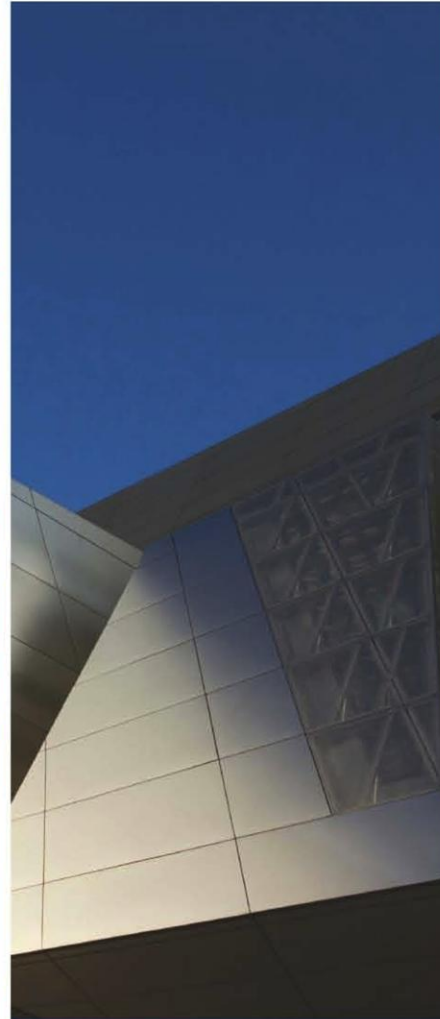
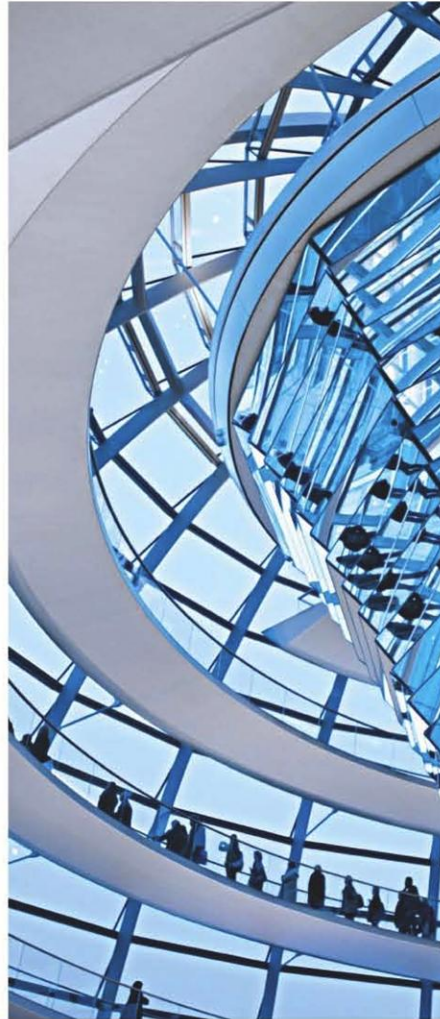
SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



conalep

Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica



Uso eficiente de energía
en fachadas y cubiertas



PT y PT-B
en Construcción

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

MD 5:

Uso eficiente de energía en fachadas y cubiertas

MD 5: Uso eficiente de energía en fachadas y cubiertas

5.1. Conceptos de envolventes y fachadas.....	4
5.1.1. ¿Qué es una envolvente arquitectónica?	4
5.1.1.1. Componentes de la envolvente.....	4
5.1.1.2. Sistema físico de la envolvente	5
5.1.2. ¿Qué es la fachada de un edificio?.....	6
5.1.3. Recubrimientos	9
5.2. Funciones energéticas y aspectos físicos de la fachada.....	11
5.2.1. Sombreamiento	11
5.2.1.1. Trayectoria solar	11
5.2.1.2. Sombreamiento pasivo y sombreamiento activo	17
5.2.2. Masa térmica	20
5.2.3. Cargas térmicas en un edificio.....	21
5.2.4. Reflectancia solar	22
5.2.5. Ejemplo de cálculo de la ganancia de calor en un edificio.....	23
5.3. Diferentes tipos de fachadas y su funcionamiento como envolvente arquitectónica.....	26
5.3.1. Recubrimientos y revoques aislantes.....	26
5.3.2. Fachadas convencionales	30
5.3.2.1 Fachada ligera.....	30
5.3.2.2 Fachada pesada	31
5.3.2.3 Fachada prefabricada	33
5.3.3. Fachadas Inteligentes.....	34
5.3.3.1 Fachada ventilada	35
5.3.3.2 Fachadas solares.....	37
5.3.3.3 Fachada verde	44
5.4. Anexos.....	45

Abreviaturas

°C	Grados Celsius
a. C.	Antes de Cristo
CFE	Comisión Federal de Electricidad
cm	Centímetro
CO ₂	Bióxido de carbono
EPS	poliestireno expandido
FV	Fotovoltaico
K	Kelvin
Lat.	Latitud
Long.	Longitud
m	Metro
mm	Milímetro
MG	Meridiano de Greenwich
N	Norte
O	Oeste
UV	Ultravioleta
W	Watt

5.1. Conceptos de envolventes y fachadas

En este capítulo se explicarán algunos de los conceptos de envoltorio de un edificio, los distintos tipos de fachadas arquitectónicas y la estrecha relación que guardan con la eficiencia energética de un edificio.

5.1.1. ¿Qué es una envolvente arquitectónica?

La envolvente arquitectónica es la capa externa de un edificio que vincula los espacios interiores con el exterior; ya sea el aire libre, el agua, el terreno o una colindancia. Funciona como un regulador de las condiciones exteriores, para crear un ambiente interior (temperatura, luz y ventilación naturales)¹.

5.1.1.1. Componentes de la envolvente

Una envolvente arquitectónica está integrada por:

- A. Cubiertas, techos, losas, volados
- B. Muros y piel del edificio
- C. Aberturas, puertas y ventanas
- D. Superficie de contacto con el terreno: pisos

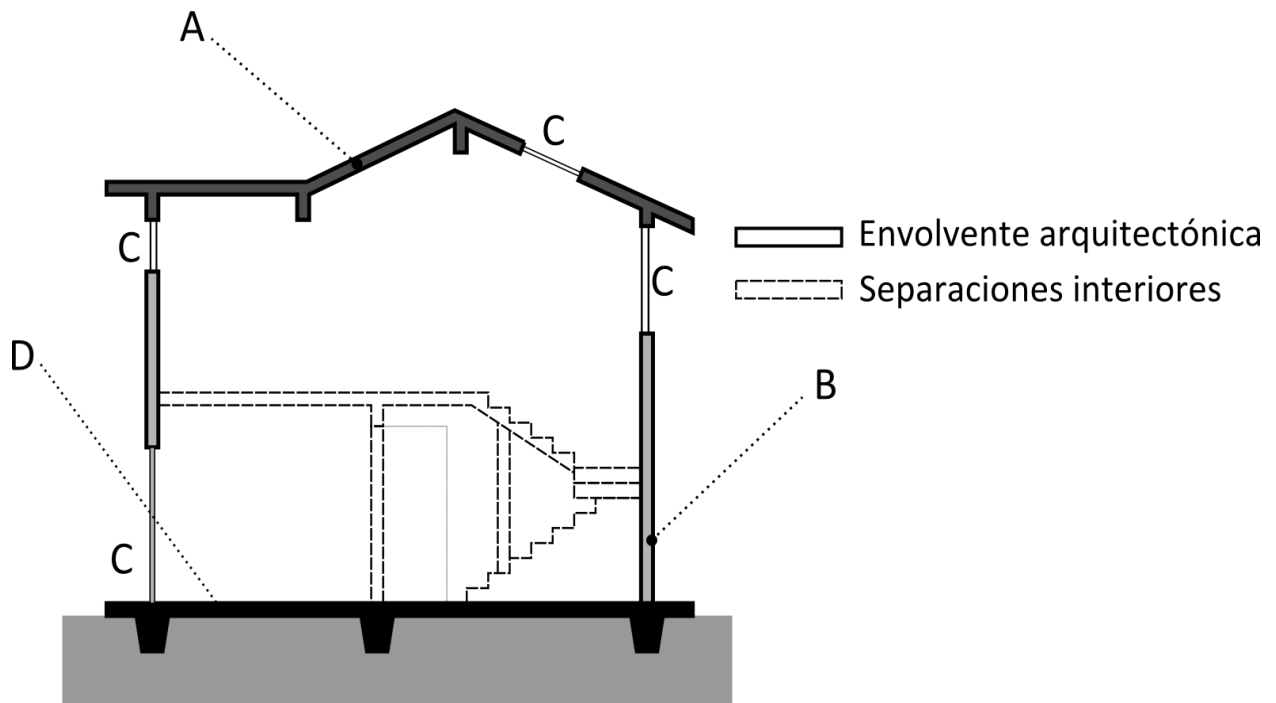


Figura 1: Envolvente arquitectónica

¹ Straube, John. "The Building Enclosure", Building Science Digest 18/ Building Science Press, 2006

Actividad 1: Componentes de la envolvente

- Identifica el componente que representa cada letra (A, B, C, D)
- Señala con colores cada uno de los elementos: en amarillo, las cubiertas; en rojo, los muros; en azul, las aberturas; en verde, la superficie de contacto.

5.1.1.2. Sistema físico de la envolvente

La envolvente arquitectónica es parte de un sistema físico que abarca tres componentes²:

- **Ambiente exterior.** Se refiere al entorno, natural o urbano, en el que se ubica el edificio.
- **Cerramientos.** El “cascarón” del edificio: muros, puertas, ventanas, pisos e invernaderos.
- **Ambiente interior.** Son las condiciones micro-climáticas que se obtienen como resultado de la interacción del sistema de cerramientos de la envolvente con el ambiente exterior.

Funciones de la envolvente

Actividad 2: Sistema físico de la envolvente

Utiliza tres colores distintos para señalar los elementos del sistema físico de la envolvente: Ambiente exterior, cerramientos y ambiente interior. Rellena cada rectángulo con el color según corresponda

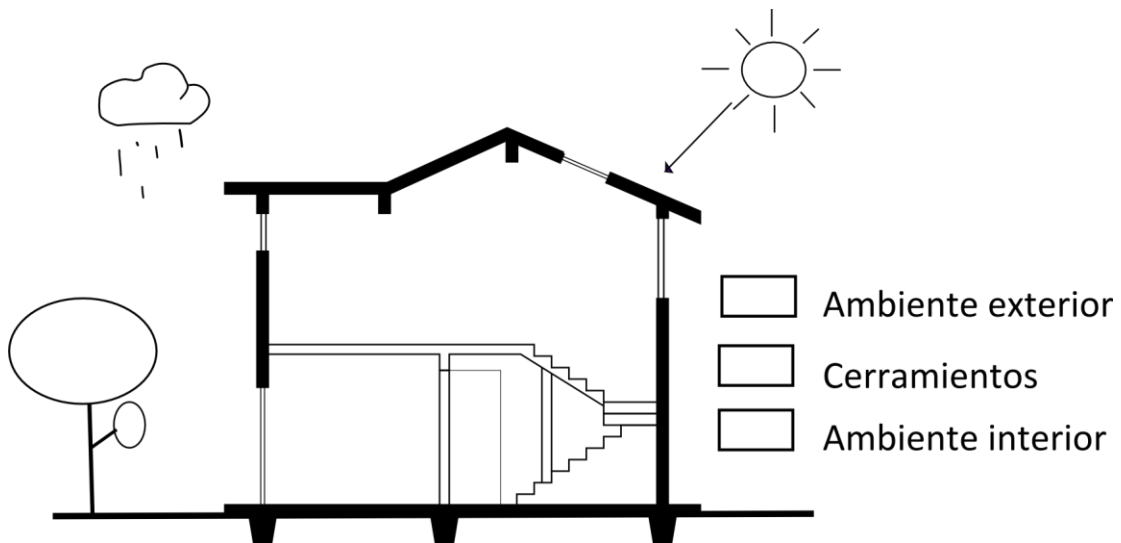


Figura 2: Sistema físico de la envolvente

² Straube, J.F. and Burnett, E.F.P., "Rain Control and Design Strategies". J. Of Thermal Insulation and Building Envelopes, July 1999, pp. 41-56.

La envolvente cumple tres funciones principales:

Soporte

Se refiere a que la edificación sea capaz de sostenerse a sí misma y responder a los esfuerzos estructurales para los que fue diseñada, para brindar seguridad a los usuarios. La envolvente puede formar parte del sistema constructivo (muros de carga) o estar adosada al mismo (fachadas superpuestas). Debe ser estructuralmente segura y sus elementos no deben representar riesgos para los habitantes o los transeúntes.

Control

Debe tener la capacidad de regular las cargas térmicas, cargas acústicas, las condiciones de iluminación natural, de humedad y el flujo y renovación del aire. Por ejemplo, mantener el calor en épocas de frío, aislar el ruido excesivo producido por autos, permitir el paso de la luz natural para prescindir de iluminación artificial durante el día, aislar de la lluvia y permitir la renovación del aire, para que se pueda respirar saludablemente.

Presentación Debe cumplir con una apariencia interior y exterior armónica, estética, acorde con su uso. También es importante que, el mantenimiento de la misma sea fácil de llevar a cabo por el usuario, los acabados sean duraderos y que tanto construcción como mantenimiento, resulten económicos y ecológicos.

Actividad 3: Componentes de la envolvente

Identifica y señala el contorno de las partes que integran la envolvente de esta casa maya: cubierta, muro, aberturas, superficie de contacto.

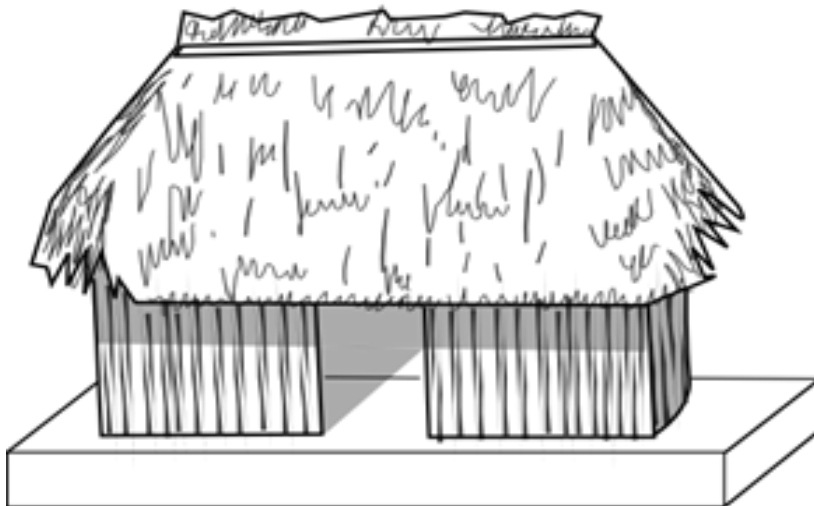


Figura 3: Fachada de casa maya

5.1.2. ¿Qué es la fachada de un edificio?

La fachada de un edificio es el *paramento exterior* de un edificio. El concepto permite hacer referencia a todos los paramentos exteriores de la construcción pero, por lo general, el término se utiliza para hacer mención a la fachada principal o fachada delantera. Cuando la cubierta tiene alguna intención estética, suele hacerse referencia a la misma como la quinta fachada.



Imagen 1: Fachada principal del Palacio Nacional en la Ciudad de México

Un *paramento* es cada una de las caras de todo elemento constructivo vertical, como paredes o lienzos de muros.³ En muchas ocasiones se hace referencia al paramento como la superficie de un muro. La cara que mira al exterior del edificio, o superficie, se denomina paramento exterior.

Las fachadas arquitectónicas forman parte de la envolvente de un edificio. Es la primera impresión que da un edificio, y en conjunto, como en una ciudad, las fachadas son las que nos dan la idea de si es una ciudad muy bonita o no.

³ Auguste Choisy, (2003), "El arte de construir en Roma", Madrid, Ed. Reverté

Las fachadas cumplen, principalmente, una función estética, pero además es deseable que cumplan otras funciones como:

- Proveer aislamiento térmico hacia el edificio
- Proveer aislamiento acústico,
- Proveer impermeabilidad al agua y
- Controlar la iluminación natural hacia el interior del edificio.



Imagen 2: Instalación de lana mineral en una fachada ventilada

5.1.3. Recubrimientos

Los recubrimientos son los materiales de protección o acabado con los que se cubren los paramentos interiores y exteriores, ya sean éstos horizontales o verticales.

Además de las características estéticas que dan a una fachada de un edificio proporcionan ciertas cualidades a los paramentos como impermeabilidad al agua, resistencia mecánica y otros.

Existen recubrimientos naturales, recubrimientos naturales industrializados, recubrimientos artificiales y recubrimientos plásticos. También existen recubrimientos que agregan características de aislamiento térmico y acústico, que veremos más adelante.

Recubrimientos naturales:

- **Mármol**, que es una roca metamórfica formada por caliza, minerales, micas, grafito y óxido de hierro, entre otros minerales. Se origina debido a grandes presiones eruptivas;
- **Piedra**, como cantera, piedra negra (para pisos), piedra braza, piedras lajas, adoquín, etc.; y
- **Madera**, como el encino, la caoba y el roble.

Recubrimientos naturales industrializados:

- **Fibracel**, que es resistente a la polilla y puede obtenerse en piezas de mayores dimensiones que la madera tradicional;
- **Triplay**, elaborado con finas chapas de madera pegadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor con las fibras transversalmente una sobre la otra lo que mejora notablemente la resistencia mecánica respecto de madera maciza; y
- **Permaplay**, hecho con astillas de madera seca comprimidas en prensas hidráulicas y con un grado de humedad que permite su aglutinación con resinas sintéticas; las astillas deben mantenerse en determinado tamaño para lograr un producto uniforme.

Recubrimientos artificiales:

- **Piedras artificiales**, preparadas con diversos productos en estado pulverulento o pastoso, para darles forma con facilidad; se endurecen mediante procesos fisicoquímicos.
- **Canteras artificiales**, se elaboran con una parte de cemento Portland blanco por tres partes de agregado total por volumen; el agregado puede ser arena roja, caliza gris, granito, etc.
- **Azulejo**, la fabricación del azulejo está basada en feldespato, sílice y caolines molidos que se combinan perfectamente y poseen una muy baja humedad (entre 5% y 10%), después se utilizan prensas para obtener las diversas piezas mediante diferentes moldes y por último se someten a un proceso de secado.

Revestimientos plásticos:

- **Pláytex**, formados por una película de material plástico soportada por un tejido de algodón que se funden y forman una sola pieza la cual se hace pasar por un conjunto de rodillos grabadores que imprimen las diferentes texturas, tridimensionales, de la superficie
- **Panelyte**, material plástico laminado a alta presión, hecho a base de hojas de papel impregnadas de una solución de resina sintética. Para fines industriales, en algunos casos se utilizan telas nylon, seda o vidrio, en lugar de papel.

5.2. Funciones energéticas y aspectos físicos de la fachada

Lograr la eficiencia energética en un edificio no es cuestión de una única adecuación o modificación sino más bien un conjunto de ellas.

En los temas anteriores se habló ya de *eficiencia energética*, de *aislamiento térmico*, y de *arquitectura bioclimática*. Pues bien, las *fachadas arquitectónicas* son uno más de estos elementos que pueden lograr, mediante una adecuada selección e instalación, importantes ahorros de energía en los edificios por conceptos de acondicionamiento de aire, calefacción e iluminación.

Cierto tipo de fachadas son capaces de proveer sombreado hacia los edificios limitando así las ganancias de calor cuando sean indeseables. Estos sombreados pueden ubicarse externamente al edificio (como toldos, persianas, etc.) o ser parte de los mismo (como partesoles, volados, etc.). A su vez éstos pueden ser pasivos (sin partes móviles) o activos (con partes móviles).

5.2.1. Sombreamiento

Uno de los factores más importantes, desde el punto de vista de la eficiencia energética, a tomar en cuenta al momento de diseñar un edificio es el sombreado, esto es, elegir las técnicas que lo protejan de la radiación solar, lo que reduciría las ganancias de calor por conducción a través de los materiales de construcción y las ganancias de calor por radiación a través de las aberturas. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en permitir la correcta iluminación del edificio.

A fin de lograr lo anterior, es primordial entender el movimiento aparente del Sol respecto a una posición fija en la Tierra; a esto se le conoce como trayectoria solar.

5.2.1.1. Trayectoria solar

Mediante un buen diseño en la orientación de los edificios que tome en cuenta la trayectoria solar es posible tener edificios bien iluminados que utilicen menos horas al día la iluminación artificial, lo que reduce el consumo de energía eléctrica por este concepto, así como el adecuado control de la temperatura en el edificio lo que disminuye el consumo de energía por aclimatización del edificio (equipos de aire acondicionado y/o calefacción) para lograr el confort térmico.

En el Manual Didáctico 4 se habla de geometría solar y cómo es que la inclinación del eje terrestre determina los climas y la posición del Sol respecto a un lugar fijo sobre la Tierra al realizar ésta su movimiento de traslación, sin embargo es importante recordar algunos

conceptos y ampliar otros en esta sección a fin de entender claramente cómo utilizar el sombreado.

Para localizar cualquier punto sobre la superficie de la Tierra se requieren de dos magnitudes angulares: la **longitud** y la **latitud**. Para su correcta definición se considerará que la Tierra es una esfera perfecta. Cualquier punto al que se haga referencia se considerará que está sobre la superficie terrestre, y por conveniencia, a nivel del mar. Los términos eje de la Tierra, ecuador, polos terrestres y puntos cardinales, meridianos y paralelos; que son de uso común serán definidos de la siguiente manera:

- a) *Eje terrestre*: Es la línea recta imaginaria alrededor de la cual se realiza el movimiento de rotación de la Tierra, es decir es una recta alrededor de la cual la Tierra gira diariamente.
- b) *Ecuador*: Es una circunferencia imaginaria cuyo plano es ortogonal al eje terrestre y que divide a la Tierra en dos semiesferas llamadas Hemisferios; el Norte y el Sur. El círculo definido por el ecuador se le llama plano ecuatorial.
- c) *Polos terrestres*: Son dos puntos opuestos sobre la superficie terrestre definidos por el eje de la Tierra. También se pueden establecer de una manera general de la manera siguiente: Puntos opuestos de una esfera que definen una línea recta vertical que pasa por el centro de ésta. Al punto superior se le llama Polo Norte y al inferior se le llama Polo Sur. Al considerar el plano ecuatorial, resulta que el Polo Norte queda arriba del ecuador, mientras que el Polo Sur queda debajo de éste. Así que el Ecuador divide a la Tierra en el Hemisferio Norte y el Hemisferio Sur.
- d) *Puntos cardinales*: Cualquier observador en la Tierra “ve” salir el Sol por un punto y ocultarse por otro. Al punto por donde sale el Sol se le llama Este, mientras que al punto por donde se oculta se le llama Oeste. Estos puntos son totalmente opuestos y definen una línea recta imaginaria que resulta ser perpendicular a la recta definida por los polos. Ambas rectas definen los 4 puntos Polo Norte, Polo Sur, Este y Oeste llamados los puntos cardinales. Considerando estas definiciones, la Tierra gira en dirección hacia el Este, y si se observa a ésta desde arriba del Polo Norte, su movimiento de rotación resulta ser en contra de las manecillas del reloj.
- e) *Meridianos, longitud y tiempo solar*: Los meridianos son semicircunferencias que pasan por los polos y cuyo radio es igual al radio de la Tierra. Su centro es el centro de la Tierra. Dos meridianos consecutivos definen una rebanada de esfera que en el lenguaje común, aplicado a los cítricos, se le llaman “gajos”. La identificación de los meridianos es de gran importancia en nuestra vida cotidiana ya que son los que definen el concepto de tiempo solar. Además,

definen una de las coordenadas necesarias llamada la longitud, abreviada por *long.*, para la localización de un punto sobre la superficie terrestre.

Como la circunferencia tiene 360° , se podrán trazar imaginariamente 360 meridianos, cada uno espaciado un arco de tamaño de un grado respecto de su consecutivo; o también, 24 meridianos cada uno espaciado con un arco de 15° . En general, se pueden trazar tantos meridianos como se quiera. Para trazarlos, es necesario tener una referencia a través del cual se especifica cualquier otro.

Por convención internacional, al meridiano de referencia se le llama Meridiano de Greenwich (MG) y es el meridiano que pasa cerca del observatorio Real de Greenwich, Londres, Inglaterra, correspondiéndole una longitud de cero grados. La longitud se mide refiriéndola hacia el Este o hacia el Oeste del MG, con un valor máximo de 180° , que corresponde a la semicircunferencia opuesta del MG.

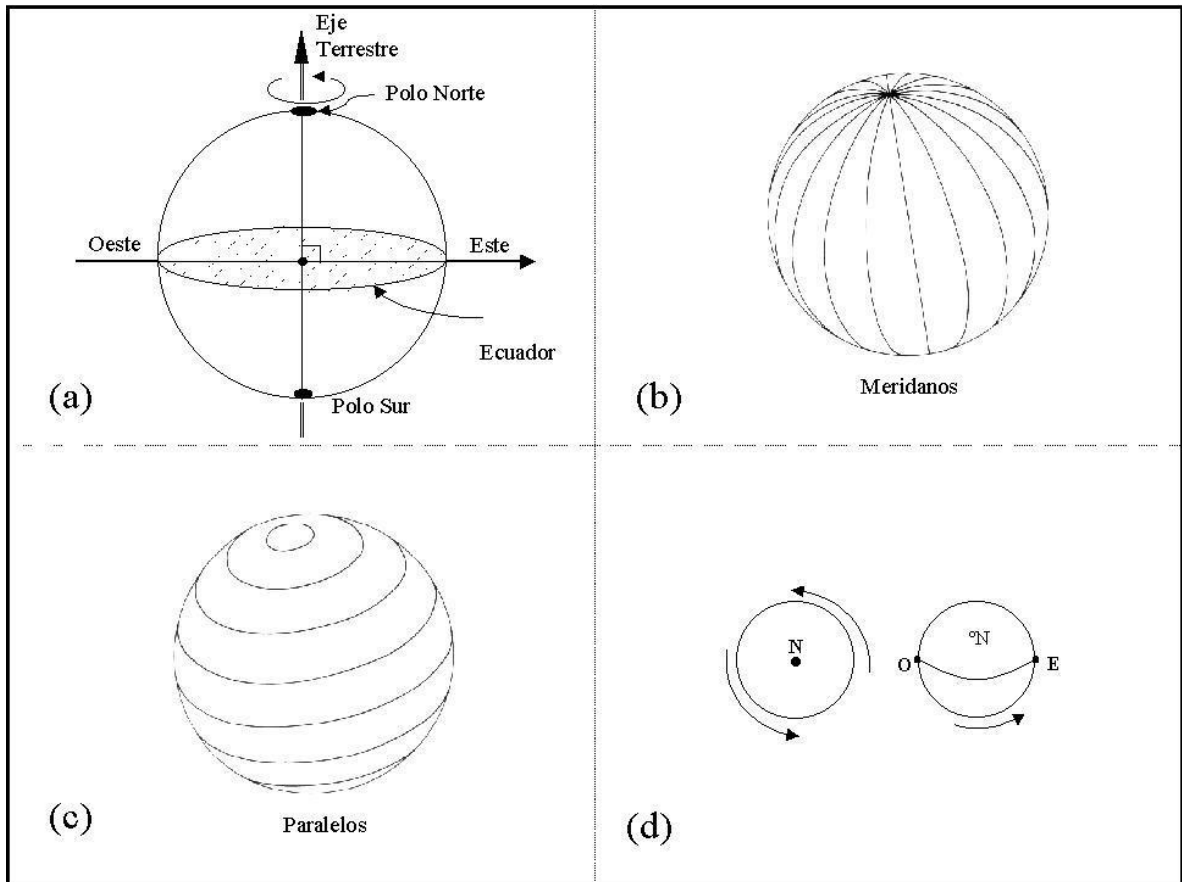


Figura 4: Diagrama esquemático que muestra: (a) eje terrestre, ecuador y los polos; (b) los meridianos; (c) los paralelos; y (d) la dirección de rotación de la Tierra alrededor de su eje.

Esta inclinación en el eje de la Tierra y su posición en la trayectoria alrededor del Sol es la que determina las estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno.

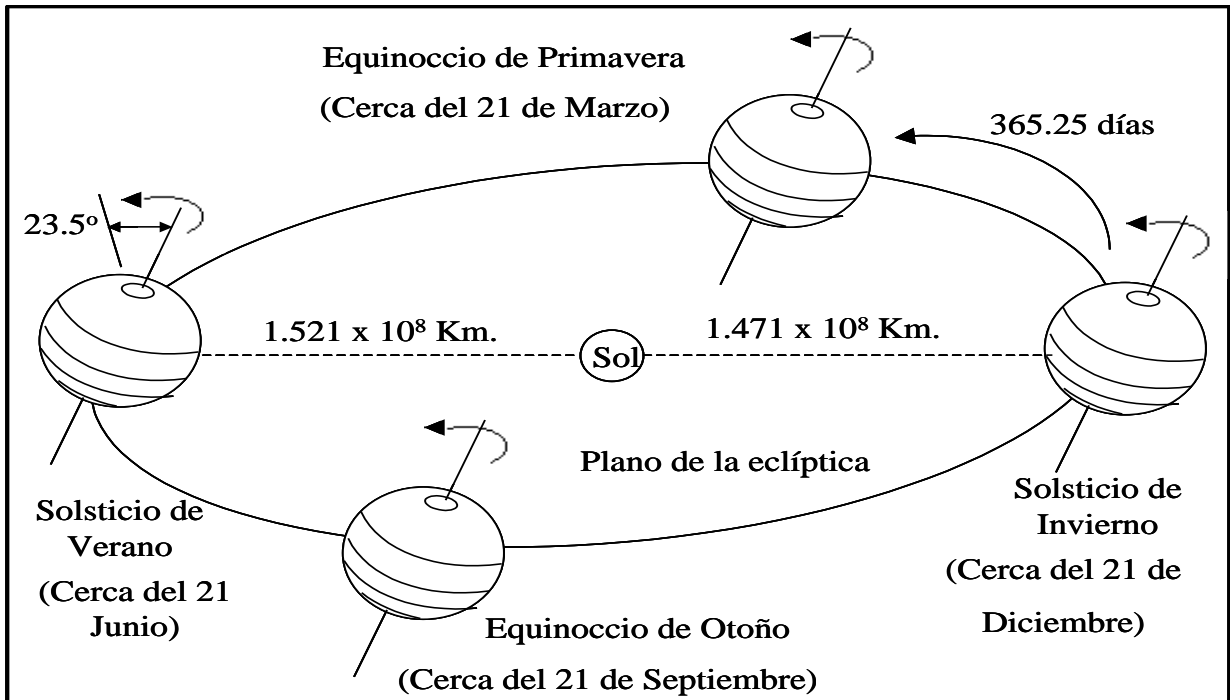


Figura 5: Trayectoria de la Tierra alrededor del Sol donde se muestra la declinación del eje terrestre y los días que corresponden a los solsticios y equinoccios

De acuerdo a la posición en la que se encuentre se perciben días más largos y noches más cortas o, por el contrario, días más cortos y noches más largas.

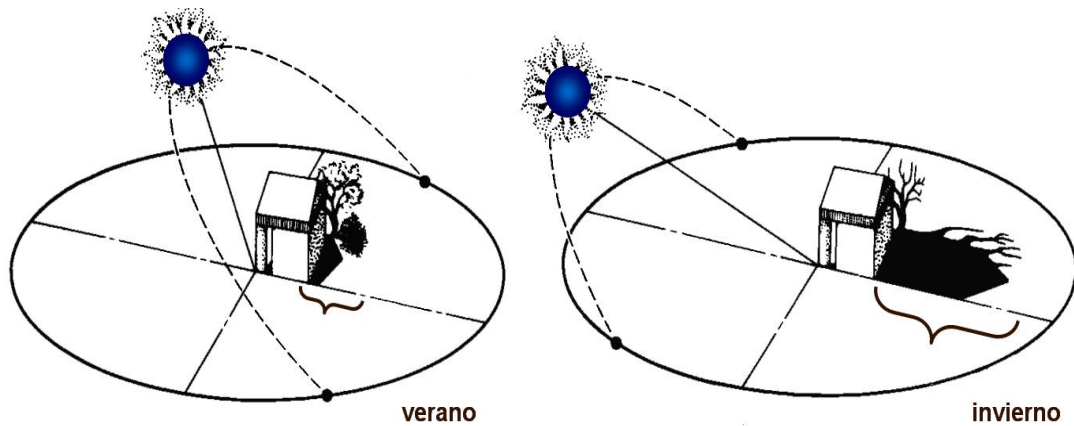


Figura 6: Trayectorias solares en verano e invierno

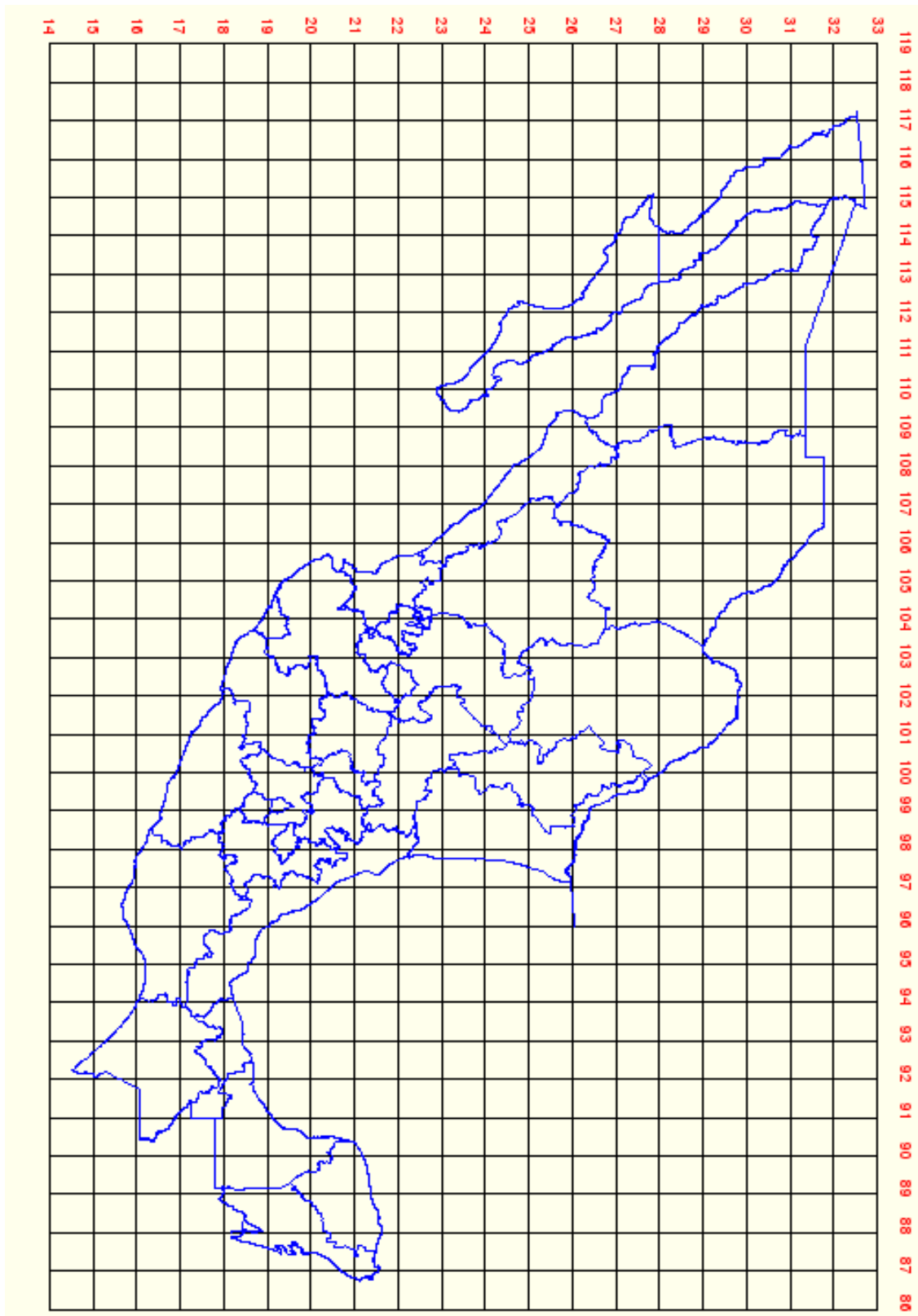


Figura 7: Mapa de meridianos y paralelos de México

Actividad 4: Latitud y longitud

Ubica en el “mapa de meridianos y paralelos de México” 5 localidades de tu interés y determina con la ayuda de una regla la latitud y longitud aproximada de cada lugar.

Localidad 1: _____ Longitud: _____ Latitud: _____

Localidad 2: _____ Longitud: _____ Latitud: _____

Localidad 3: _____ Longitud: _____ Latitud: _____

Localidad 4: _____ Longitud: _____ Latitud: _____

Localidad 5: _____ Longitud: _____ Latitud: _____

5.2.1.2. Sombreamiento pasivo y sombreamiento activo

Además de los elementos de sombreamiento que se especifican en la NOM-020-ENER-2011 existen otros que han dado muy buenos resultados a nivel mundial. Algunos de ellos son totalmente estáticos (elementos pasivos), mientras otros pueden ser mecanizados e incluso robotizados (elementos activos) para ajustar el nivel de sombreamiento de acuerdo a la latitud del lugar, hora del día y a la estación del año.

A) Sombreamiento pasivo

Existen numerosos elementos que están diseñados para impedir total o parcialmente la cantidad de radiación solar que incida sobre superficies que se desean proteger.

Éstos varían en su funcionamiento, coste, mantenimiento, bloqueo de luz natural y de vistas. Por lo general, estos sistemas suelen ser pasivos. Su costo inicial suele amortizarse a mediano plazo gracias a la energía que se ahorra en iluminación y en la reducción de las instalaciones de refrigeración necesarias para el confort.

Un buen ejemplo de cómo se pueden aprovechar estos elementos pasivos de sombreamiento es el edificio Kuggen que mostramos a continuación.

Las ventanas ocupan una cuarta parte de la superficie de la pared, hace que el calor se mantenga, mientras que las aberturas de forma triangular permiten el paso de la luz donde más se necesita desde donde la luz puede penetrar perfectamente al núcleo del edificio.

El Kuggen hace uso del diseño para contar con ventilación adaptable, iluminación adaptable, calefacción y refrigeración interactiva, e iluminación natural dentro del edificio.



Imagen 3: Edificio Kuggen en Gotemburgo, Suecia

El edificio está construido totalmente de hormigón, una capa de elementos prefabricados con una alta *masa térmica*. Al comparar el edificio con sistemas de iluminación y ventilación activados por el movimiento, es notoria una reducción considerable en el consumo de energía ya que en el Kuggen la energía se utiliza sólo cuando es realmente necesario.

El concepto de masa térmica y sus implicaciones se mostrará en el siguiente apartado.

B) Sombreamiento activo

Los elementos de sombreado activo hacen uso de cierta energía para modificar las condiciones de sombreado según se requieren en el instante. Así se pueden tener persianas que ajustan su posición de acuerdo a las necesidades de los ocupantes y de la posición relativa del Sol. Estos dispositivos suelen ser más costosos pero también más eficientes al momento de controlar la cantidad de luz que se desea tener en un recinto.

La fachada del edificio Kiefer technic showroom, que mostramos a continuación, incorpora un sistema de persianas móviles en su exterior, las cuales pueden variar su posición a voluntad del usuario o mediante un programa para permitir o bloquear total o parcialmente el paso de la luz y, por consiguiente, del calor del Sol cuando éste es indeseable.



Imagen 4: Kiefer technic showroom, Austria

BD: Video de persianas automatizadas

Actividad 5: Sombreamiento activo

Dadas las ventajas que presenta el sombreado activo en los edificios ¿Consideras que deberían de incluirse en todos los edificios? ¿Qué desventajas, si las hay, crees que se presenten en este tipo de sombreado? Discute tus respuestas con tu grupo.

5.2.2. Masa térmica

Ciertos materiales tienen la cualidad de absorber el calor y acumularlo lentamente en su estructura interna. Dado que requieren una gran cantidad de energía para aumentar su temperatura, los procesos de transmisión de calor por conducción, a través de ellos, propician un efecto de “almacenamiento” de calor, el cual irán liberando gradualmente conforme disminuya la temperatura a su alrededor.

Para comprender mejor este fenómeno, imaginemos lo siguiente:

Un muro grueso de adobe recibe una cantidad importante de radiación solar durante el día. La radiación solar calienta la superficie exterior del muro y ese calor es absorbido y transmitido lentamente hacia la superficie interior (siempre y cuando ésta tenga una temperatura inferior).

Unas 8 horas después de que el muro recibió la mayor cantidad de energía, es decir, durante la noche, su superficie interior alcanza la mayor temperatura posible, contribuyendo a calentar el espacio interior. Para ese momento, el muro ha “almacenado” una cantidad importante de energía, por lo que seguirá radiando calor hacia el interior bastantes horas después de que la superficie exterior haya dejado de recibir radiación.

Aun cuando durante la noche el muro pierde calor también hacia afuera (si la temperatura exterior desciende lo suficiente), una parte importante de éste continuará ingresando al espacio interior.

Distintos materiales poseen distintos valores de masa térmica; hay algunos con elevada masa térmica que los hacen deseables para la construcción en climas extremos como en los desiertos, donde la temperatura exterior durante el día puede alcanzar los 40°C y los 8°C por la noche.

Algunos materiales con elevada masa térmica pueden incluir el adobe (y la tierra en general), el ladrillo, la piedra, el concreto y el agua.



Imagen 5: Vivienda de adobe

5.2.3. Cargas térmicas en un edificio

Se entiende como carga térmica de un edificio a la cantidad de energía que se necesita en un área de un edificio para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad.

Para determinar la carga térmica es necesario evaluar lo siguiente:

- Datos atmosféricos del sitio. Lo que implica obtener datos o medir parámetros climatológicos como: radiación solar horaria, humedad relativa del aire, velocidad del viento, debe incluirse recopilación estadísticas sobre lluvias y estudio de las sombras.
- Características y orientación de la edificación. Deben considerarse las dimensiones físicas, la orientación del edificio, materiales de construcción empleados, característica y espesor del aislamiento y la utilización de superficies acristaladas.
- Concentración de personas dentro del edificio.
- Las fuentes de calor internas.

Dependiendo del clima, estas *cargas térmicas* pueden ser favorables (invierno) o desfavorables (verano).

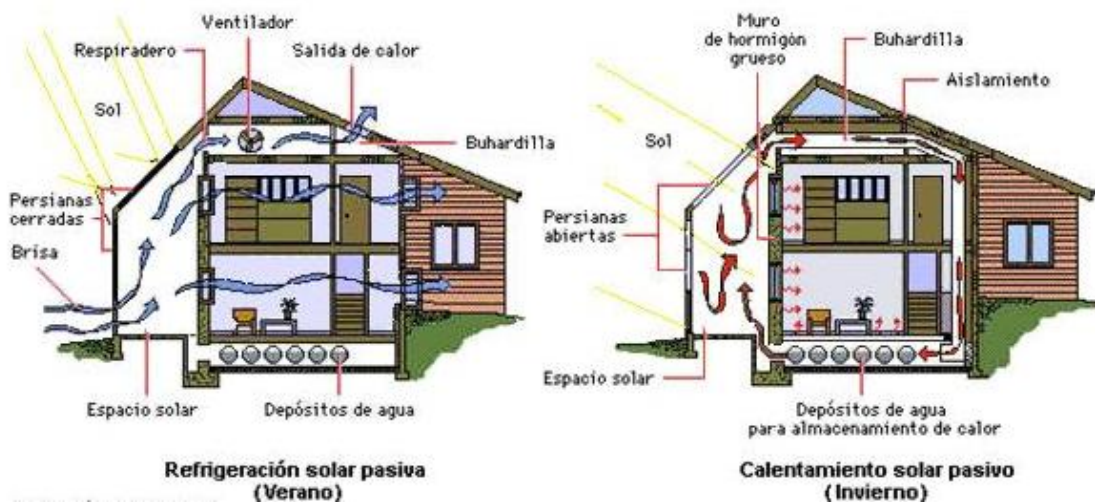


Figura 8: En verano (izquierda), las persianas se mantienen cerradas para impedir las ganancias de calor, mientras que en invierno (derecha), las persianas se abren para permitir las ganancias de calor

Las cargas térmicas en los edificios pueden ser debidas a factores externos (el Sol principalmente) o a factores internos (estufas, hornos, aparatos eléctricos, personas), por lo que reciben el nombre de *cargas externas* y *cargas internas*, respectivamente.

Dado que en climas fríos, estas cargas térmicas son deseables es que se les llama ganancias térmicas.

Las cargas o ganancias térmicas externas se deben a varios fenómenos de intercambio de calor del edificio con el exterior, por ejemplo:

- Transmisión de calor por conducción, que es la que se da a través de los elementos constructivos que separan el interior del exterior del edificio (muros, techos),
- por el aire que se infiltra al edificio y que es necesario para una adecuada ventilación,
- por radiación solar a través de las aberturas del edificio (ventanas, tragaluz),
- el calor interno producido por las personas,
- equipos como focos, televisores, hornos, y otros como estufas, calentadores, etc.

5.2.4. Reflectancia solar

La reflectancia de las superficies es la capacidad que tienen éstas para reflejar la luz. Se define como la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente.

La reflectancia de una superficie se expresa como una fracción entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 y 100. Por poner algunos ejemplos, tenemos que la reflectancia del Hormigón Natural está entre el 20% y 10%, la del mármol de entre 70% y 60% y la reflectancia de los ladrillos esmaltados blancos es de 85% al 75%. Es importante notar que los valores de reflectancia medidos son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra.

Las pinturas reflectivas están diseñadas para reflejar la mayor cantidad de luz solar y permiten perder calor más eficientemente que otras superficies, lo que las mantiene mucho más frescas durante el día.

Es por estas características que es conveniente utilizarlas para pintar los techos de los edificios en zonas de alta insolación. Al pintar los techos con pinturas reflejantes se logra reducir las ganancias de calor en edificios, mejorar con ello las condiciones de confort térmico, por lo que se tendrían equipos de aire acondicionado de menor dimensión trayendo consigo ahorros significativos en los consumos de energía.

Cabe señalar que los mayores ahorros energéticos y beneficios ambientales relacionados, se logran utilizando una combinación adecuada de tecnologías que sean pertinentes a la región climática en que se construye, de tal modo que las pinturas reflectivas por sí solas no funcionan como aislamiento térmico, por lo que no pueden ser sustituidos.

5.2.5. Ejemplo de cálculo de la ganancia de calor en un edificio

En el año 2001 la Secretaría de Energía (SENER) publicó a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001 *Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios no residenciales*. Esta norma obliga a los diseñadores a que todos los edificios nuevos y que no se usen con fines habitacionales, limiten la ganancia de calor a través de la envoltente.

Posteriormente la SENER publica en el año 2011 la norma NOM-020-ENER2011 *Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios para uso habitacional*. Similar a la NOM-008-ENER-2001, esta norma obliga a que los edificios que se construyan para uso habitacional limiten la ganancia de calor a través de su envoltente.

Estas ganancias de calor tienen un impacto en las condiciones de confort dentro del edificio, en el bienestar de las personas que lo ocupan y consecuentemente, en el consumo de energía, ya que es necesario recurrir a aparatos de aire acondicionado para alcanzar las condiciones de temperatura y humedad deseadas.

Para entender la medida en que afectan las cargas térmicas debidas a la radiación solar, tanto por conducción a través de los materiales como por radiación a través de las ventanas, se realiza el siguiente ejemplo de cálculo.

Considere la siguiente vivienda típica de 50 m² orientada hacia el norte.

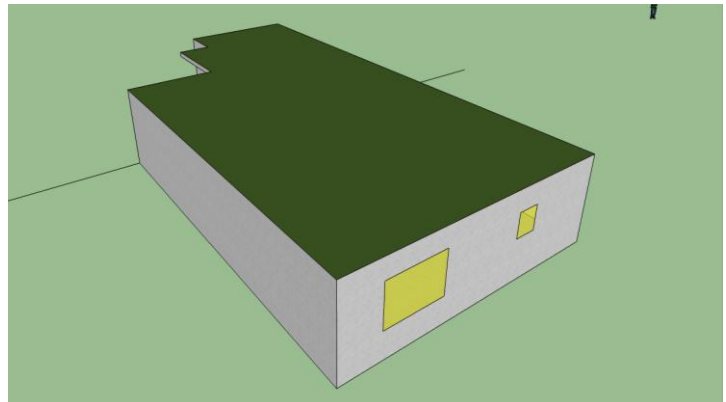


Figura 9: Vivienda típica de 50m²

Para calcular las ganancias de calor que tendría esta vivienda es necesario saber con qué información se cuenta. En este ejemplo:

- Localización: Los Mochis, Sinaloa, México (25°47' N, 108 59' O)
- Tipo de clima: Cálido húmedo
- Materiales utilizados en su construcción: block hueco de concreto (muros) y losa de vigueta y bovedilla (techo)

Actividad 6: Islas de calor

La temperatura promedio en las zonas urbanas es mayor que la temperatura en zonas rurales aledañas ¿A qué asociarías este fenómeno? ¿Qué medidas se podrían tomar para minimizar este efecto? ¿Cuáles consecuencias negativas consideras del efecto isla de calor?

- Conductividad térmica de los materiales de construcción: 1.11W/mK (muros) y 0.286W/mK (techo)
- Ventanas: Vidrio simple de 3mm con marco de Aluminio
- Superficies: Tómnense los valores mostrados en la siguiente tabla

Tabla 1: Superficies de la vivienda de ejemplo

Muro	Parte opaca (muros) en m ²	Parte no opaca (ventanas) en m ²
Norte	12*	2*
Sur	12	4
Este	22	Inexistente
Oeste	22*	Inexistente
Área total del techo: 50m²		

*Es la suma de los muros en esas orientaciones

De acuerdo a la metodología de cálculo mostrada en la NOM-020-ENER-2011 (ver anexo al final de este capítulo), la ganancia total de energía hacia la vivienda por conducción es:

$$\phi_{pc}=1,966.66 \text{ W}$$

Y la ganancia por radiación:

$$\phi_{ps}=664 \text{ W}$$

Por lo que la ganancia total, que es la suma de la ganancia por conducción más la ganancia de calor por radiación es:

$$\phi_p=\phi_{pc}+\phi_{ps}=1,966.66 \text{ W}+664 \text{ W}=2,630.66 \text{ W}$$

$$\phi_p=2,630.66 \text{ W}$$

Al incorporar una pulgada (2.54cm) de algún aislante térmico, por ejemplo, uno de conductividad térmica igual a 0.038W/mK, la ganancia de calor por conducción sería:

$$\phi_{pc}=532.38 \text{ W}$$

Esto es útil para reducir la ganancia de calor por conducción, sin embargo, las ganancias de calor por radiación permanecen inalterables y no se cumpliría con la norma.

Para poder reducir las ganancias de calor por radiación solar es necesario recurrir a elementos de sombreado colocados de manera estratégica en las áreas críticas.

Efectos del sombreado sobre edificios como elemento de diseño

Para explicar cómo el sombreado influye directamente en la ganancia de calor de un edificio se continúa con el ejemplo anterior, esta vez con la colocación de algunos elementos de sombreado exterior.

Para este ejemplo, se coloca algún elemento de sombreado como el *volado extendido* (ver figura 10) reconocido por la NOM-020-ENER-2011, en la ventana de mayor asoleamiento, que en nuestro caso es la ventana en el muro orientado hacia el sur.

De acuerdo con la misma metodología de cálculo de la NOM-020-ENER-2011 (ver anexo al final de este capítulo) la ganancia de calor por radiación sería:

$$\phi_{ps}=454 \text{ W}$$

Con lo que el nuevo valor de la ganancia total de calor de nuestra vivienda, a la que hipotéticamente se le agregó aislamiento térmico y un volado simple como elemento de sombreado externo en una ventana, sería:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps} = 532.38 \text{ W} + 454 \text{ W} = 986.78 \text{ W}$$

$$\phi_p = 986.78 \text{ W}$$

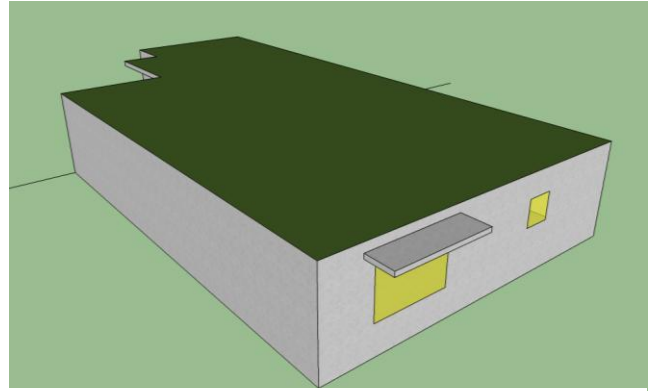


Figura 10: Volado extendido sobre ventana

Con estos valores obtenidos es posible construir la siguiente tabla:

Tabla 2: Resumen de cálculo de ganancias de calor

Ganancia de calor	Por conducción (en Watts)	Por radiación solar (en Watts)	Total (en Watts)
Vivienda sin aislamiento ni elemento de sombreado	1,966.66	664	2,630.66
Vivienda con aislamiento y con volado simple	532.38	454	986.78
Diferencia	1,434.28	210	1,643.88
		Ahorro en porcentaje	62.5%

5.3. Diferentes tipos de fachadas y su funcionamiento como envolvente arquitectónica

Además de la función estética que realizan las fachadas éstas son capaces de ayudar al edificio a alcanzar la eficiencia energética si se seleccionan acorde a las condiciones climatológicas del sitio.

5.3.1. Recubrimientos y revoques aislantes

Un elemento más al que se puede recurrir para este fin es la utilización de recubrimientos y acabados especiales que disminuyen la conductividad térmica de la envolvente, además protegen los muros de agentes atmosféricos y la contaminación.

En ocasiones se utiliza una mezcla de perlita con yeso es apta para lograr acabados termoaislantes. La perlita es un vidrio volcánico amorfo que tiene un contenido de agua relativamente alto. Es un mineral que aparece en la naturaleza, y tiene la propiedad poco común de expandirse entre 7 y 16 veces su tamaño cuando se calienta a temperaturas de 850 a 900 °C.

Una vez expandida con este procedimiento quedan grandes cantidades de aire en su interior lo que le confiere características como aislante térmico y acústico.



Imagen 6: Vivienda en proceso de revoque

Es posible aplicarse sobre prácticamente cualquier superficie como recubrimiento exterior. Este tipo de recubrimiento provee propiedades de impermeabilidad, aislamiento acústico y aislamiento térmico.

Existen también revoques aislantes como el que se logra con una mezcla de cemento, arcilla y corcho que además son considerados como ecológicos, otros con una mezcla de cemento, arena y perlitas de EPS.

Todos los materiales poseen propiedades físicas que determinan su capacidad de transferir el calor. En este sentido, podemos destacar las propiedades térmicas dinámicas (conductividad, densidad y calor específico) y las propiedades superficiales: reflectancia (ρ), absorptancia (α) y emitancia (ϵ).

Cada una de ellas influye en mayor o menor grado en la transferencia de calor por convección, radiación y conducción. Por ejemplo, para determinar el flujo de calor por conducción que pasa a través de un muro de concreto de 12 cm de espesor se necesita, principalmente, conocer la conductividad y densidad del concreto.

Sin embargo, es sabido que el color de una superficie influye en buena medida en su temperatura superficial. De este modo, si quisiéramos determinar de un modo más preciso el flujo de calor que pasa a través del mismo muro de concreto, es necesario tomar en cuenta todos los mecanismos de transferencia de calor que ocurren, de manera que se requiere conocer, además de lo anterior, las características superficiales del recubrimiento exterior del muro.

Son estas características superficiales las que son de mayor interés en la tecnología de cubiertas y superficies reflectivas.

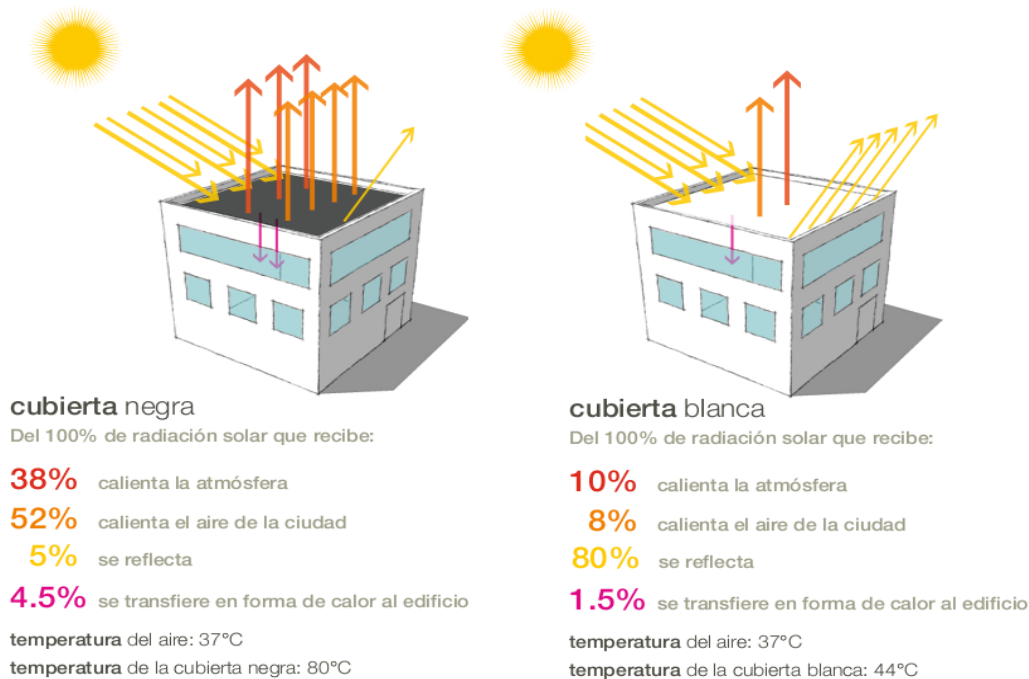


Figura 11: Efecto albedo sobre un edificio

Cuando la radiación solar incide en la cubierta de un edificio, parte de esa energía es reflejada y parte es absorbida. La parte absorbida resulta en un incremento de la temperatura superficial de la cubierta; lo que finalmente se traduce en una mayor demanda de energía para climatizar el espacio (figura 11⁴).

Es posible conseguir una disminución de la temperatura superficial utilizando acabados que reflejten una porción significativa de la radiación solar incidente de onda corta, lo cual resulta en un mejor desempeño térmico comparado con superficies tradicionales.

A ésta y otras estrategias se les conoce en inglés como COOL ROOFS: cubiertas y superficies reflectivas. La tecnología de cubiertas y superficies reflectivas es una alternativa de eficiencia energética, financieramente viable y una solución sustentable para mitigar los efectos de isla de calor en las ciudades (figura 12⁵) y reducir el consumo de energía requerido para el enfriamiento de los edificios.

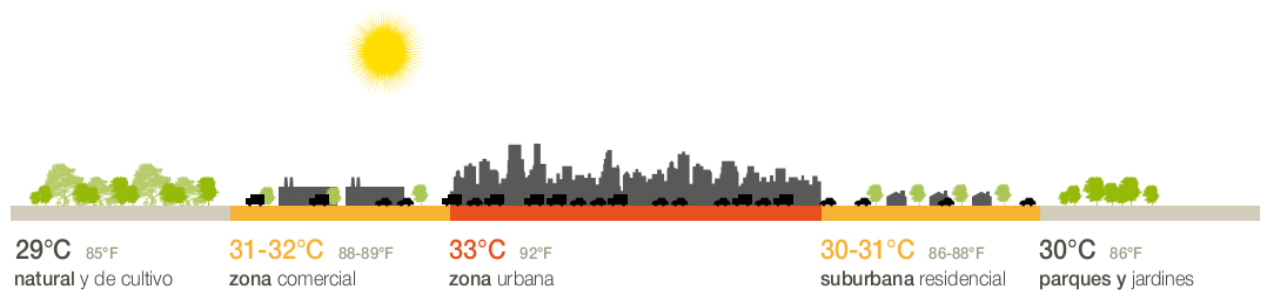


Figura 12: Efecto de isla de calor

La Reflectividad Solar (RS) es la habilidad de reflejar la radiación solar reduciendo la transferencia de calor hacia el interior del edificio; mientras que un valor alto de emitancia (ϵ) nos indica una capacidad de desprender rápidamente el calor absorbido en forma de radiación infrarroja.

De este modo, una superficie con valores altos de RS y ϵ que está expuesta a la radiación solar, tendrá una temperatura superficial inferior comparada con superficies similares con valores de RS y ϵ menores. Si esta superficie es parte de la envolvente del edificio, esto puede resultar en una disminución del calor que entra en el edificio; y si esta superficie es parte del tejido urbano (pavimentos, banquetas, etc.) estos valores contribuyen a disminuir la temperatura del aire; ya que la convección de superficies más frescas es menor.

⁴ Fuente: GCCA 2012. A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements. Global Cool Cities Alliance.

⁵ Fuente: GCCA 2012. A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements. Global Cool Cities Alliance.

Por ejemplo, la superficie negra estándar tiene un aumento de temperatura de 50°C a pleno sol y la superficie blanca estándar tiene un incremento de sólo 8.1°C.

Las superficies reflectantes son aquellas que reflejan la luz solar y tienen la habilidad de perder calor más eficientemente que otras superficies, lo que las mantiene mucho más frescas durante el día. Las superficies tradicionales, en contraste, absorben mayor cantidad de radiación solar lo que hace que estén más calientes durante más tiempo.

La tecnología de COOL ROOFS es bastante conocida y aplicada en Estados Unidos, en donde existen estándares para su medición, están incluidos en los códigos de energía de varios estados y en diversos programas de eficiencia energética.

Adicionalmente, se cuenta con una infraestructura de organizaciones que proveen información sobre la tecnología y que incentivan su uso.

En México, esta tecnología no es conocida extensamente y existe poca información sobre los productos para cubiertas y superficies reflectivas disponibles en el país y sus beneficios. Tampoco se cuenta, hasta ahora, con métodos de prueba validados para verificar las propiedades superficiales de los productos en el mercado.

La tecnología existe y ha sido probada en diferentes ciudades del mundo con buenos resultados, especialmente en climas cálidos.

Un aspecto fundamental para la exitosa implementación de este tipo de tecnologías es la existencia, aplicación y supervisión de un marco regulatorio adecuado.

Actualmente la normatividad mexicana vigente en materia de eficiencia energética en envoltentes (NOM-008-ENER-2001, NMX-C-460 y NOM-020-ENER-2011) no contempla el efecto de las cubiertas y superficies reflectivas.



Imagen 7: Aplicación de superficie reflejante

Sin embargo, establece niveles mínimos de resistividad según el elemento de la envolvente, su orientación y la zona climática.

5.3.2. Fachadas convencionales

Para este capítulo hemos hecho una clasificación de fachadas convencionales y fachadas inteligentes. Explicaremos las diferencias entre unas y otras y veremos algunas de sus características principales.

5.3.2.1 Fachada ligera

Es una fachada continua y anclada a una estructura auxiliar. Por sí misma, o en conjunto con la estructura del edificio, cumple las funciones normales de un muro exterior pero no asume característica alguna de soporte de carga de la estructura del edificio.

Las fachadas de vidrio en los edificios de oficinas o comerciales son ejemplos muy comunes en México de fachadas ligeras. Actualmente muchos edificios utilizan este tipo de fachadas por cuestiones estéticas y porque permiten concluir los edificios en menor tiempo pero desde el punto de vista de la eficiencia energética son edificios que durante el verano se sobrecalientan al recibir la radiación solar, lo que eleva la temperatura al interior del edificio. Por otro lado, en invierno son incapaces de retener el calor dentro de las oficinas debido a los numerosos puentes térmicos.

En general, los edificios con grandes fachadas de vidrio se comportan como grandes captadores de radiación solar y tienden a sobrecalentarse, lo que implica que consuman una gran cantidad de energía para alimentar equipos de aire acondicionado.



Imagen 8: Ejemplo de fachada ligera.
Torre Mayor de la Ciudad de México.

Actividad 7: Fachadas ligeras de vidrio

Explica a qué efecto se debe el sobrecalentamiento dentro de los edificios con fachadas de vidrio

La fachada ligera puede ser de dos tipos: *muro cortina* o *fachada panel*.

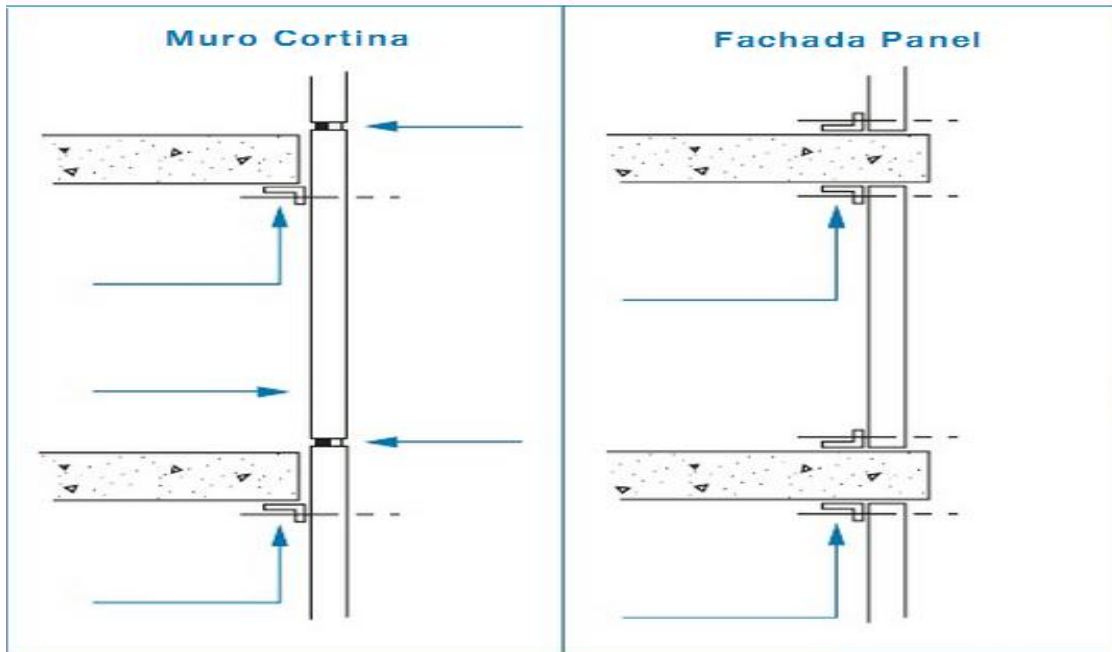


Figura 13: Corte de instalación de muro cortina y de fachada panel

Actividad 8: Componentes de un muro cortina y de fachada panel

Ubica en la figura anterior cada uno de los componentes señalados: Unión, anclaje y perfil de aluminio

BD: Puesta en obra de un muro cortina estructura oculta

El concepto de *muro cortina* indica que la fachada pasa por delante de los forjados y, en consecuencia, está suspendida de ellos. El concepto de *fachada panel* indica que la fachada está situada entre los forjados y, por lo tanto, está apoyada en ellos.

5.3.2.2 Fachada pesada

Esta categoría abarca todas las fachadas tradicionales, ya sean de ladrillo visto, enfoscados, aplacados, de piedra, de madera u otras, además de las ventiladas y las prefabricadas.

No posee ninguna característica especial y suelen ser las de menor costo.

Estas fachadas forman parte de la estructura del edificio y las cargas verticales descienden a través de él hasta la cimentación, por lo que son más pesadas que cuando la fachada es solamente un elemento de cerramiento.

El peso de estos muros puede ser una ventaja en cuanto a su comportamiento térmico, ya que la construcción con elementos pesados implica más *inercia térmica* y, por lo tanto, un mantenimiento más estable de la temperatura en el tiempo, esto es, con un rango de temperaturas más estrecho. La masa térmica de un material determina la cantidad de calor que puede conservar y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno.



Imagen 9: Ejemplo de una fachada pesada

Mediante la utilización de muros de gran masa esta propiedad puede aprovecharse en la construcción para conservar la temperatura del interior de los edificios más estable a lo largo del día. Durante el día se calientan al recibir la energía del Sol y por la noche, que es más fría, van cediendo el calor hacia el interior y exterior del edificio, lo que ayuda a lograr una temperatura de confort.

En verano, durante el día, absorben el calor y retrasan el tiempo necesario para que éste ingrese en el edificio. Por la noche se vuelven a enfriar con una ventilación adecuada, para prepararlos para el día siguiente. Un adecuado uso de esta característica puede evitar el uso de sistemas artificiales de climatización interior.

El muro de fachada debe tener la resistencia y espesor necesario para satisfacer las exigencias que se derivan de su función portante. Cuando el espesor supera los 20 cm. puede construirse incorporando *áridos* procedentes del reciclado de derribos lo que permite reducir los impactos ambientales.

Los *áridos* usados para morteros y hormigones son materiales granulares inorgánicos, de tamaño variable, de naturaleza inerte y no deben reaccionar químicamente frente a los componentes del cemento o frente a agentes externos como el aire o agua.

En las construcciones coloniales de México, como las haciendas y monasterios, era común la construcción de muros de adobe o piedra gruesos y pesados de 30cm de espesor. Estos materiales con propiedades de alta inercia térmica proporcionan un cierto aislamiento térmico

a estos edificios, que al combinarse con techos altos proporcionan confort térmico en zonas cálidas.

Sin embargo, es importante aclarar que para obtener un ahorro en el consumo de energía de un edificio a lo largo de su vida útil es necesaria la utilización de algún aislamiento térmico ya que es lo que verdaderamente determina la función como muro aislante.



Imagen 10: Fachada pesada del Arzobispado de Durango, Dgo.

5.3.2.3 Fachada prefabricada

Las fachadas prefabricadas son preparadas en talleres y comprenden muros prefabricados que luego habrán de ensamblarse unos a otros en el lugar de la obra.

Algunos módulos de fachadas prefabricadas ya traen incluidas las ventanas y puertas facilitando el trabajo y reduciendo el tiempo de construcción.

El material que tradicionalmente se usa es el concreto, pero la madera también es muy utilizada ofreciendo esta variante al consumidor.

También se utilizan otros materiales más modernos como el hormigón reforzado con fibra de vidrio.

Los sistemas de unión entre los distintos módulos ya vienen incorporados en las propias piezas, de modo que suelen ser construcciones de *junta seca* por lo que no es necesario utilizar algún aglutinante en su unión, y aunque esto supone algunas ventajas por el poco tiempo que toma

lograr la unión también posee algunas desventajas importantes desde el punto de vista de la eficiencia energética como la creación de puentes térmicos.

Aunque los puentes térmicos son un grave problema si no se evitan en la construcción, actualmente no existe en México normatividad que regule su uso y es común ver malas prácticas en la construcción al respecto, como muros aislados que presentan problemas de puentes térmicos, los cuales permiten la transferencia de calor con mayor facilidad.



Imagen 11: Módulos prefabricados de fachadas

5.3.3. Fachadas Inteligentes

Para reducir la cantidad de energía consumida debida a la climatización y aumentar el confort térmico del edificio, es necesario estudiar y optimizar el diseño de cada fachada, utilizando las más novedosas herramientas y los materiales adecuados.



Imagen 12: Instalación de fachadas prefabricadas en un edificio de departamentos en Juriquilla, Querétaro, Qro.

Actividad 9: Fachadas ligeras

Haz una lista con las ventajas y desventajas que consideres sobre la construcción de edificios con fachadas ligeras de vidrio y otra lista con las ventajas y desventajas sobre la construcción de edificios con fachadas prefabricadas

Fachadas ligeras de vidrio		Fachadas prefabricadas	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas

El concepto de desarrollo sostenible y la cultura medioambiental giran en torno de temas como la preocupación por la extinción de los recursos fósiles. Las energías renovables, además de ser limpias e inagotables, concuerdan con el ecosistema y procuran tal desarrollo sostenible. La energía solar se puede aprovechar de dos formas distintas:

De forma pasiva: según la orientación del edificio, los materiales utilizados, se aprovechan para aclimatar el edificio y proporcionar iluminación natural.

De forma activa: la energía solar se aprovecha para la calefacción (captación de energía térmica) y calentamiento de agua o bien para generar electricidad.

5.3.3.1 Fachada ventilada

El concepto de fachada ventilada se basa en una cámara de aire abierta entre el revestimiento exterior del edificio y su cerramiento, permitiendo una ventilación continua en el interior de la cámara. Se suele colocar el aislante sobre el cerramiento, para mejorar las características térmicas del edificio y cumplir con las necesidades impuestas por las normativas.

De esta manera, se reducen los consumos de energía por concepto de acondicionamiento de aire a fin de lograr el confort térmico, de tal modo que se utilizarían menos los equipos de aire acondicionado y/o de calefacción.

El concepto de fachada ventilada nace a finales de los años 80 y actualmente sigue en desarrollo, se hace investigación acerca de los diferentes tipos de revestimientos que se pueden integrar, tipos de aislamientos apropiados para el exterior y sistemas de anclaje que mejoren la seguridad y reduzcan los tiempos de colocación y mantenimiento.

La fachada ventilada proporciona protección y mejora el confort térmico, gracias a la cámara de aire que queda entre muros, diseñada especialmente para aumentar el aislamiento térmico y/o acústico. Esta solución constructiva se utiliza de manera cada vez más frecuente en los proyectos arquitectónicos debido a que se obtienen, entre otras, las siguientes ventajas:

Aislamiento térmico

En verano, la radiación solar calienta el revestimiento externo que transmite su energía al aire de la cámara. Este aire se calienta y empieza a subir, por diferencia de densidad, hasta salir al exterior. De esta manera, el calor por radiación que llega a la pared del edificio es notablemente menor del que hubiera llegado sin fachada ventilada.

En invierno el aislamiento térmico del edificio impide que el calor salga del edificio, lo que aumenta el confort térmico dentro del mismo.

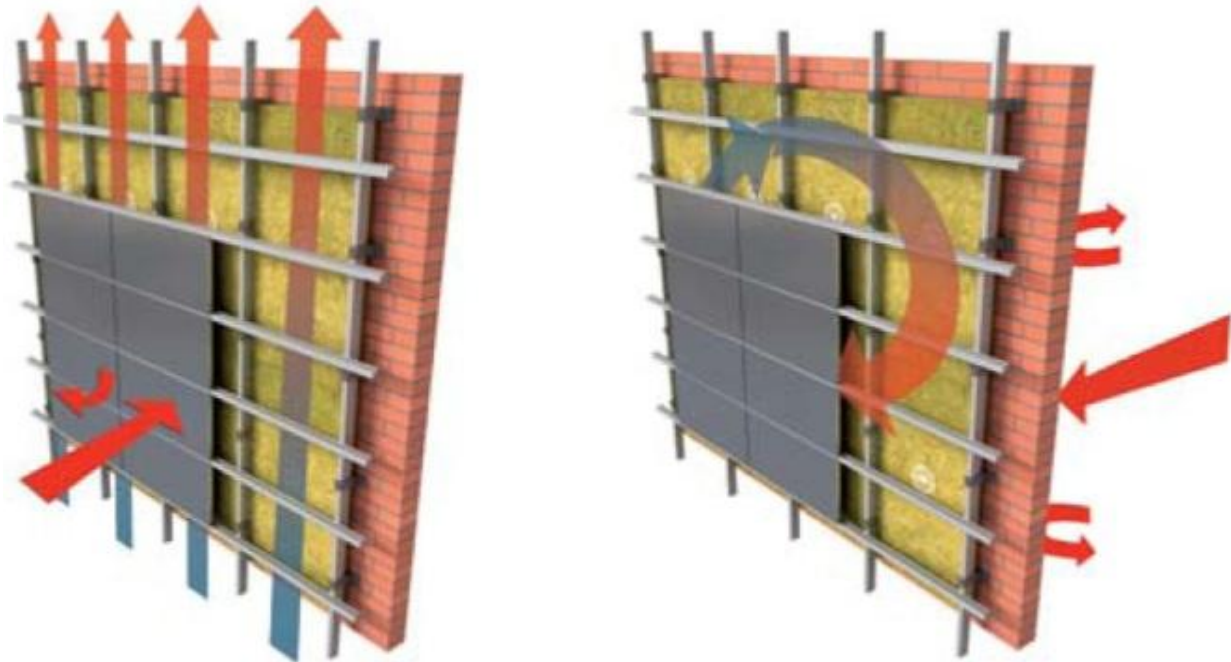


Figura 14: Flujo del calor sobre una fachada ventilada, en verano (izquierda) y en invierno (derecha)

Aislamiento acústico

El revestimiento exterior crea una barrera a las ondas sonoras. Gracias a su forma de colocación con juntas abiertas, rompe las ondas sonoras, reduciendo enormemente la energía acústica que llega a la pared exterior y, con ello, el ruido que se transmite hacia el interior del edificio.

Protección contra la lluvia

El revestimiento exterior está distanciado del cerramiento, por lo tanto la lluvia no entra en contacto directo con las paredes del edificio, además la ventilación continua seca rápidamente las paredes, evitando que la humedad pueda penetrar en el edificio.



Fuente: <http://www.kraspan.ru/eng/?systems>

Imagen 13: Ejemplo de fachada ventilada

5.3.3.2 Fachadas solares

Actualmente el método más utilizado para producir energía eléctrica a partir de la energía del Sol es el empleo de los paneles fotovoltaicos. El interés que tiene hoy la industria del diseño y la construcción por la captación solar ha desarrollado nuevas tendencias y avanzadas tecnologías. El uso de paneles fotovoltaicos se está extendiendo y su coste es más razonable si se plantea su uso en una vivienda o edificio en la fase de proyecto.

Además, los sistemas fotovoltaicos son perfectamente integrables a la fachada de un edificio y sus cubiertas como puede apreciarse en la imagen anterior en la que las ventanas con celdas fotovoltaicas reducen la insolación a la vez que producen energía eléctrica.

Sin embargo, dadas las latitudes de la República Mexicana, la mejor manera de aprovechar la radiación solar sería en planos con inclinaciones igual al valor de la latitud en la localidad donde se localice, por lo que ubicar los paneles solares en paramentos verticales implica no aprovechar al máximo la cantidad de energía solar que incide. Este efecto se ve reducido en países más septentrionales.



Imagen 14: Fachada en un edificio que convierte la luz solar en energía eléctrica

Constitución de un módulo fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico o panel solar está compuesto por celdas fotovoltaicas como la que aparece en el inciso (A) de la figura siguiente. Estas celdas se conectan entre sí (B), se encapsulan con vidrio y plástico para darles resistencia mecánica (C) y al final se protegen con un marco de Aluminio (D) para formar un módulo fotovoltaico (E).

Uno de estos paneles solares puede producir energía limpia por más de 20 años. El desgaste se debe, principalmente, a la exposición al medio ambiente. Un panel solar montado apropiadamente constituirá una fuente de energía limpia, silenciosa y confiable por muchos años.

Las celdas fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores los cuales transforman la radiación solar que reciben en electricidad

Existen varios tipos de celdas de acuerdo con los materiales con que se fabriquen, lo que les confiere distintas características.

El material empleado con mayor frecuencia en el mundo para fabricar estas celdas es el Silicio, el cual está presente abundantemente en la Tierra pues se encuentra, incluso, en la arena de los mares y desiertos.

Las celdas de Silicio se producen principalmente en 3 tecnologías distintas que, de acuerdo al proceso de fabricación, pueden ser: Monocristalinas (a), Policristalinas (b) o Amorfás (c).

Celdas fotovoltaicas amorfas:

El panel solar de silicio amorfo está formado de una sola pieza y las celdas individuales no se distinguen a simple vista. La eficiencia de paneles solares fabricados con celdas fotovoltaicas amorfas no es tan alta como las hechas de celdas fotovoltaicas individuales, aunque esto ha mejorado en los últimos años al punto que pueden verse como una alternativa práctica a los paneles realizados con celdas fotovoltaicas cristalinas.

Su gran ventaja reside en su costo, que es relativamente bajo. Sin embargo, al tener una baja

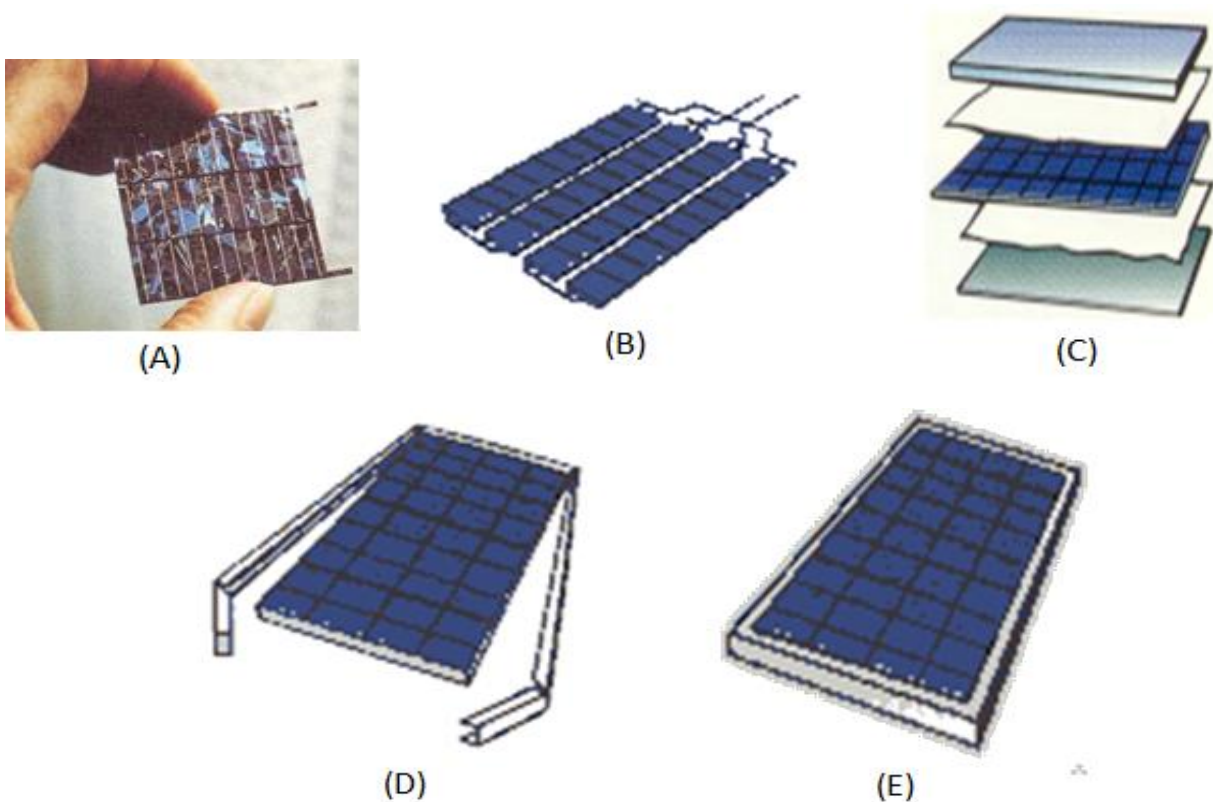


Figura 15: Constitución de un módulo fotovoltaico o panel solar

eficiencia de conversión de la energía, es necesario utilizar más paneles solares para obtener la misma potencia de salida.

Celdas fotovoltaicas cristalinas: Las celdas fotovoltaicas policristalinas son más baratas pero menos eficientes que las celdas fotovoltaicas monocristalinas; son cuadradas, de modo que cubran mayor área del panel solar, sin embargo, los paneles solares con celdas policristalinas producen un poco menos energía eléctrica que las celdas fotovoltaicas monocristalinas tomando en cuenta un panel solar del mismo tamaño.

Las *celdas fotovoltaicas* de silicio monocristalino se obtienen a partir de barras largas y cilíndricas de silicio monocristalino producidas mediante procesos complejos y muy costosos lo que asegura que los electrones se desplacen más libremente; cada barra se corta en forma de obleas de medio milímetro de espesor, para su posterior uso en la fabricación de las celdas.

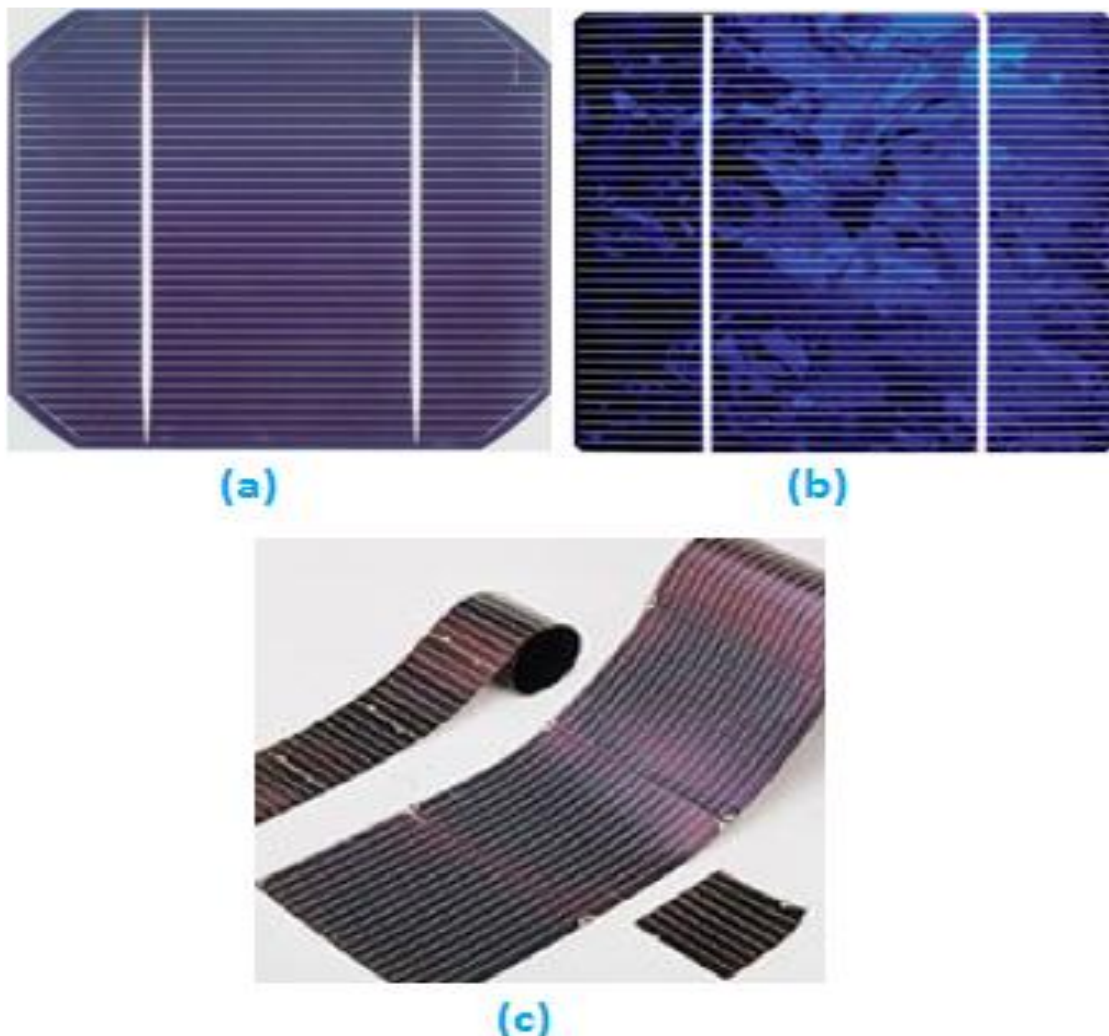


Imagen 15: Celdas solares de silicio monocristalino (a), silicio policristalino (b) y silicio amorfo (c)

Sistemas fotovoltaicos integrados a edificios

Las fachadas que incorporan sistemas fotovoltaicos presentan grandes ventajas:

- Se pueden instalar en las ventanas de manera individual o en toda la fachada.
- Es una energía limpia, renovable, ecológica e inagotable.
- De fácil modulación, larga duración, es silenciosa.
- Requiere poco mantenimiento.
- Evitan la gran dependencia energética externa y pueden instalarse en cualquier lugar.
- Se reducen las pérdidas de transporte de energía, ya que ésta se produce en el mismo lugar de consumo.



Imagen 16: Celdas fotovoltaicas integradas a la fachada de un edificio

Las fachadas integradas a edificios sustituyen materiales de obra, lo que ahorra costes de construcción, cuidan la estética del edificio y el control de la luz.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser *sistemas aislados* o estar *conectados a la red* eléctrica nacional.

En los sistemas aislados, también llamados *sistemas autónomos* o *sistemas autosuficientes* es necesaria la utilización de un banco de baterías que almacene la energía producida por los paneles solares a lo largo del día. Esta energía almacenada se utiliza por las noches para proveer de electricidad al edificio en las horas en que “no hay Sol”.

Este tipo de sistemas son muy convenientes en lugares alejados de la red eléctrica.

En los sistemas interconectados a la red no es necesaria la utilización de baterías, ya que al estar conectados al sistema eléctrico los edificios toman de éste la energía que requieren durante la noche. Esto implica un importante ahorro en el costo del sistema al no ser necesario el banco de baterías.

Al estar interconectados al sistema eléctrico nacional la electricidad que se genera durante el día se inyecta a la red de la compañía eléctrica (CFE) mediante un Inversor para que sea consumida por algún otro usuario.

La cantidad de energía que se produce con esta tecnología depende del recurso solar anual (horas de Sol al día) que se tenga en la localidad, de la eficiencia del panel fotovoltaico y área integrada en la fachada, así como de la orientación e inclinación de las celdas. Se recomienda que se diseñen de modo tal que la energía inyectada durante el día a la red sea igual o mayor a la energía que se consume durante la noche.

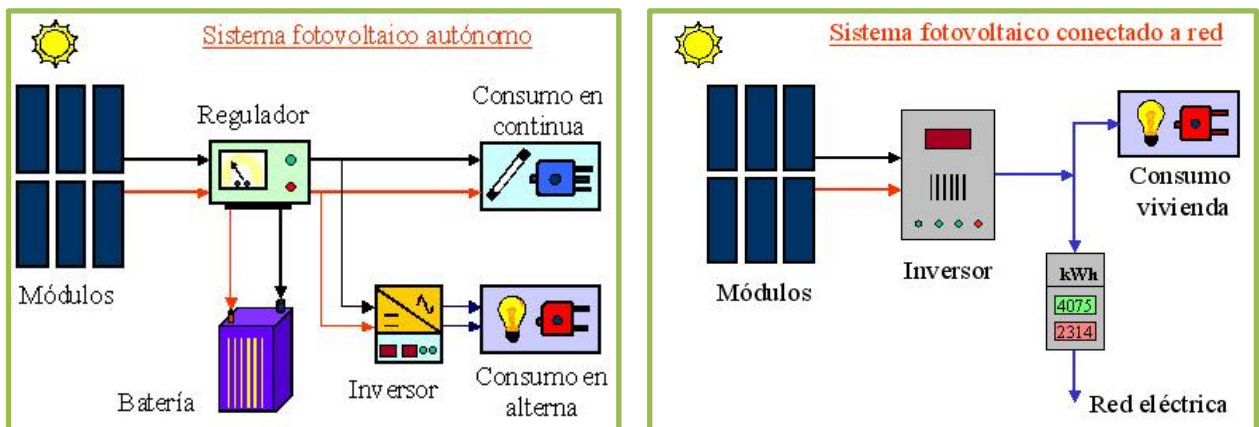


Figura 16: Elementos de un sistema fotovoltaico autónomo (izquierda) y un sistema fotovoltaico conectado a la red (derecha)

Efecto fotovoltaico: ¿Cómo funciona una celda solar?

Al fenómeno por el cual una celda fotovoltaica o celda solar convierte la luz del Sol en electricidad se le llama efecto fotovoltaico.

Los fotones son las partículas elementales de la luz. Son los encargados de transportar la energía electromagnética en paquetes definidos como “cuantos”.

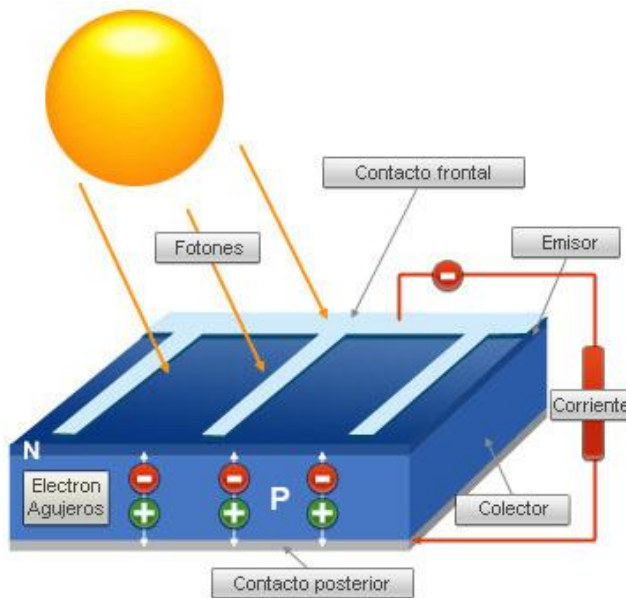


Figura 17: Efecto fotovoltaico en una celda

Cuando un haz de fotones incide sobre las celdas fotovoltaicas, éstos pueden ser absorbidos, reflejados e incluso pasar a través de las celdas. Sólo los fotones absorbidos pueden generar electricidad.

Los fotones absorbidos ceden su energía hacia los electrones de valencia en los átomos que componen las celdas fotovoltaicas. Estos electrones así excitados abandonan el átomo dejando un hueco con carga positiva y ambos son capaces de formar parte de una corriente eléctrica en un circuito en sentidos opuestos. Este flujo de electrones es el que se utiliza para encender un foco, hacer girar un motor, etc. Existen edificios en los que toda la electricidad que necesitan para la iluminación la obtienen a partir de la energía del Sol.

La energía eléctrica que requiere un edificio dependerá de las cargas eléctricas que deben multiplicarse por el tiempo que se alimentan. El tipo de cargas eléctricas y su eficiencia de conversión determinará la potencia eléctrica necesaria para hacer funcionar dichas cargas. Si la unidad de medida de la potencia eléctrica es el Watt (W), la unidad de medida de la energía eléctrica será Watt sobre hora (W/h)

Actividad 10: Eficiencia de conversión

Calcula la potencia eléctrica que entregaría un arreglo FV de 20m^2 cuando inciden en él una radiación solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$ si la eficiencia de conversión del arreglo FV es de 40%
¿Cuánta energía sería capaz de proveer el arreglo FV si esta radiación incide durante 3 horas?

5.3.3.3 Fachada verde

Las fachadas verdes son un tipo de fachada en el que uno o más de los muros del edificio está cubierto parcial o totalmente de vegetación. También se les conoce como jardín vertical, muro viviente, muro verde o pared de cultivo, entre otros nombres. El concepto de muro verde data desde el año 600 a. C. en la construcción de los Jardines colgantes de Babilonia.

Las plantas pueden ser trepadoras y tener sus raíces en el suelo o bien pueden estar instaladas en superficies porosas adheridas al muro con un sistema de riego interno.

Las fachadas verdes ofrecen ciertas ventajas, entre otras:

- Sirven de aislamiento térmico al edificio, lo que reduce la ganancia de calor del exterior o bien retarda la salida del calor dentro del edificio hacia el exterior,
- Funcionan como aislamiento acústico del ruido exterior,
- Proporcionan bienestar psicológico,
- Son un sistema de captación de agua de lluvias,
- Reducen el impacto visual de la infraestructura con respecto al entorno
- Contribuyen a la captación del CO₂
- Protegen a los materiales de la construcción de los rayos UV,
- Mejoran el entorno urbano desde el punto de vista estético

Sobre el mantenimiento, tipos de fachadas verdes, técnicas de instalación, plantas que pueden utilizarse, riego, cuidados y mayor información al respecto se encuentra en el Manual Didáctico 6: *Fachadas y azoteas verdes*.



Imagen 17: Muro Verde en la Universidad del Claustro de Sor Juana en el centro histórico de la Ciudad de México

5.4. Anexos

Glosario

Acabado: Tratamiento final de una superficie para pavimentos y revestimientos.

Aglutinante: Son productos pulverizados que cuando se mezclan con agua sufren unas transformaciones químicas que producen su endurecimiento al aire o bajo el agua, este proceso se conoce como fraguado, por ejemplo el cemento y el yeso.

Aislamiento acústico: Es la protección de un recinto contra la penetración de sonidos que interfieran la actividad que se desea realizar en su interior.

Áridos: Materiales granulares inorgánicos de tamaño variable usados para morteros y hormigones.

Banco de baterías: Conjunto de acumuladores de energía interconectados en serie y paralelo.

Carga Térmica: Es la medida de la cantidad de energía térmica que un edificio o cualquier otro recinto cerrado, intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior. El cálculo de estas cargas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas.

Celda fotovoltaica: Elemento mínimo de conversión de energía solar en energía eléctrica.

Efecto fotovoltaico: Fenómeno mediante el cual la energía solar es convertida directamente en energía eléctrica. Se presenta en ciertos materiales semiconductores cuando un haz de fotones incide sobre ellos lo que excita los electrones de valencia para ser liberados de su órbita en el átomo.

Enfoscado: Tapar los agujeros que quedan en una pared después de labrada.

Fachada ligera: El conjunto de elementos verticales y horizontales conectados conjuntamente, anclados en la estructura del edificio y rellenos para formar una superficie continua y de bajo peso.

Fachada panel: Es la fachada que está situada entre los forjados y, en consecuencia, apoyada en ellos.

Fachada pesada: Abarca todas las fachadas tradicionales, ya sean de ladrillo visto, enfoscados, aplacados, de piedra, de madera u otras.

Fachada pre-fabricada: Son fachadas compuestas por módulos de pared que vienen hechos de taller, ensamblándose unos a otros en obra. Dependiendo del nivel de prefabricación pueden incluso montarse paredes de fachada con las ventanas o la puerta ya instaladas.

Fachada solar : Es aquella que aprovecha la luz solar para generar electricidad a partir de ella.

Fachada: Paramento exterior de un edificio, generalmente el principal.

Flujo luminoso: El flujo luminoso describe la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz. Su unidad de medida es el lumen (lm).

Inercia térmica: Es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. Depende de la masa, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Insolación: La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

Junta seca: Es la unión de dos o más placas de concreto sin usar aglutinante.

Latitud: Conjunto de líneas imaginarias que dividen a la Tierra del Ecuador hacia el Norte y hacia el Sur. Cada línea tiene un valor en grados (representan una de las coordenadas geográficas) y sirve para localizar un punto sobre la superficie terrestre de manera precisa junto a la longitud.

Longitud: Se define como el valor angular existente entre el meridiano del lugar y el meridiano origen (Greenwich). El meridiano origen es el que pasa por el observatorio de Greenwich y comúnmente se le designa como meridiano de Greenwich.

Muro cortina: Es la fachada ligera que pasa por delante de los forjados y en consecuencia está suspendida de ellos.

Panel solar: Se le llama panel a la interconexión de celdas fotovoltaicas a fin de incrementar la potencia eléctrica.

Paramento: Cara de una pared o revestimiento de una cubierta.

Radiación solar: Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

Rayos UV: Se le llama así a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m). Su nombre se deriva de que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta.

Revoque o Revoco: Es el revestimiento exterior de mortero de agua, arena y cal o cemento, que se aplica, en una o más capas, a un paramento enfoscado previamente.

Soluciones activas: Son aquellas soluciones de diseño, que implementan el uso de sistemas mecánicos o involucran el uso o generación de energía y combustibles, por ejemplo, los colectores solares para el calentamiento de agua o los paneles fotovoltaicos, los sistemas de aire acondicionado, o de calentamiento de aire. Pueden o no ser ecológicas.

Soluciones pasivas: Son los elementos del diseño que funcionan sin necesidad de consumo energético o con intervenciones mínimas por parte del usuario. Es decir, la orientación de la envolvente, dispositivos de control solar, vegetación, estanques, ventanas, etc.

Volado extendido: Es aquel cuya extensión lateral va más allá de los límites de la ventana.

Índice de ACTIVIDADES

Actividad 1: Componentes de la envolvente	5
Actividad 2: Sistema físico de la envolvente	5
Actividad 3: Componentes de la envolvente	6
Actividad 4: Latitud y longitud	17
Actividad 5: Sombreamiento activo.....	19
Actividad 6: Islas de calor	23
Actividad 7: Fachadas ligeras de vidrio	30
Actividad 8: Componentes de un muro cortina y de fachada panel	31
Actividad 9: Fachadas ligeras.....	35
Actividad 10: Eficiencia de conversión.....	43

Índice de FIGURAS

Página

Figura 1: Envolvente arquitectónica.....	4
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 2: Sistema físico de la envolvente.....	5
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 3: Fachada de casa maya.....	6
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 4: Diagrama esquemático que muestra: eje terrestre, ecuador y los polos; los meridianos; los paralelos; y la dirección de rotación de la Tierra alrededor de su eje.	14
Fuente: Manual sistemas fotovoltaicos para para el desarrollo rural. CIE-UNAM	
Figura 5: Trayectoria de la Tierra alrededor del Sol donde se muestra la declinación del eje terrestre y los días que corresponden a los solsticios y equinoccios	15
Fuente: Manual sistemas fotovoltaicos para para el desarrollo rural. CIE-UNAM	
Figura 6: Trayectorias solares en verano e invierno.....	15
Fuente: Arqusach < http://arqusach3.blogspot.mx/2012/05/asoleamiento-para-santiago.html >	
Figura 7: Mapa de meridianos y paralelos de México.....	16
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 8: En verano las persianas se mantienen cerradas para impedir las ganancias de calor mientras que en invierno las persianas se abren para permitir las ganancias de calor.....	21
Fuente: Sol-uciones http://sol-uciones.webs.com/casa%20solar%20pasiva.jpg	
Figura 9: Vivienda típica de 50m ²	23
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 10: Volado extendido sobre ventana	25
Fuente: Elaborada para CONALEP	
Figura 11: Corte de instalación de muro cortina y de fachada panel	31

Fuente: Elaborada para CONALEP

Figura 12: Flujo del calor sobre una fachada ventilada, en verano y en invierno 36

Fuente: RockWool <<http://rwiumbraco.es.inforce.dk/tipos-de-proyecto/residencial-publico-docente-administrativo/fachada.aspx>>

Figura 13: Constitución de un módulo fotovoltaico o panel solar 39

Fuente: Manual sistemas fotovoltaicos para para el desarrollo rural. CIE-UNAM

Figura 14: Elementos de un sistema fotovoltaico autónomo y un sistema fotovoltaico conectado a la red 42

Fuente: Universidad Nacional de Andalucía <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/diseño-de-sistemas-fotovoltaicos/materiales-de-estudio-1/tema1/skinless_view>

Figura 15: Efecto fotovoltaico en una celda 43

Fuente: dhammaenergy <http://www.dhammaenergy.com/comment_marche.asp>

Índice de IMÁGENES

Imagen 1: Fachada principal del Palacio Nacional en la Ciudad de México 7

Fuente: arqhys <<http://www.arqhys.com/monumentos-historicos-de-mexico.html>>

Imagen 2: Instalación de lana mineral en una fachada ventilada..... 8

Fuente: Engoman23 <http://es.wikipedia.org/wiki/Fachada#Fachada_pesada>

Imagen 3: Edificio Kuggen en Gotemburgo, Suecia 18

Fuente: Tord-Rikard Soderstrom <<http://www.archdaily.mx/171749/kuggen-wingardh-arkitektkontor/>>

Imagen 4: Kiefer technic showroom, Austria..... 19

Fuente: Paul Ott <<http://www.architonic.com/aisht/dynamic-facade-kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner/5100449>>

Imagen 5: Vivienda de adobe..... 20

Fuente: 4bp <<http://4.bp.blogspot.com/-E3PCsTfhGCo/TeMeOE5op6I/AAAAAAAAAABY/i05QfJRpx4M/s1600/casa-bioclimatica-barro.jpg>>

Imagen 6: Vivienda en proceso de revoque 26

Fuente: Vivirhogar <<http://www.vivirhogar.es/files/2009/06/revo-300x225.jpg>>

Imagen 7: Ejemplo de fachada ligera. Torre Mayor de la Ciudad de México. 30

Fuente: Carlos óscar Ruiz

Imagen 8: Ejemplo de una fachada pesada 32

Fuente: Infojardin.com <<http://www.infojardin.com/fotos/albums/userpics/plaza2.jpg>>

Imagen 9: Fachada pesada del Arzobispado de Durango, Dgo..... 33

Fuente: Rafael Doniz

<http://www.mexicodesconocido.com.mx/assets/images/notas_2012/mayo_2012/arzobispado-durango.jpg

Imagen 10: Módulos prefabricados de fachadas 34
Fuente: Fchadas de Casas <<http://fachadas-casas.com/casas-y-viviendas/fachadas-prefabricadas.html>>

Imagen 11: Instalación de fachadas prefabricadas en un edificio de departamentos en Juriquilla, Querétaro, Qro. 34
Fuente: vharquitetos <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=265949&page=80>>

Imagen 12: Ejemplo de fachada ventilada 37
Fuente: kraspan <<http://kraspan.ru/eng/?systems>>

Imagen 13: Fachada en un edificio que convierte la luz solar en energía eléctrica 38
Fuente: Architings <<http://www.archithings.com/konarka-and-arch-aluminum-glass-announce-unique-solar-curtain-wall-pilot-project/2009/11/11/curtain-wall-powered-by-konarkas-power-plastic>>

Imagen 14: Celdas solares de silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo 40
Fuente: Elaborada para CONALEP

Imagen 15: Celdas fotovoltaicas integradas a la fachada de un edificio 41
Fuente: S-Energy Corea <http://sissolarventures.com/Trends_BIPV.php>

Imagen 16: Muro Verde en la Universidad del Claustro de Sor Juana en el centro histórico de la Ciudad de México 44
Fuente: UCSJ <<http://www.ucsj.edu.mx/index.php/el-claustro/instalaciones>>

Índice de TABLAS

Tabla 1: Superficies de la vivienda de ejemplo 24
Fuente: Eleborada para CONALEP

Tabla 2: Resumen de cálculo de ganancias de calor 25
Fuente: Elaborada para CONALEP

Anexo que muestra la metodología para el cálculo de la ganancia de calor de un edificio para uso habitacional de acuerdo a la NOM-020-ENER-2011

1. Cálculo de la ganancia de calor total en el edificio proyectado:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps}$$

Donde:

ϕ_{pc} es la ganancia de calor por **conducción** a través de las partes opacas y no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, en Watt;

ϕ_{ps} es la ganancia de calor por **radiación** solar a través de las partes no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, en Watt;

2. Cálculo de la ganancia de calor por conducción en el edificio proyectado

$$\phi_{pc} = \sum_{i=1}^6 \phi_{pci}$$

Donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste y 6 es superficie inferior.

3. Cálculo de la ganancia de calor por conducción en el edificio proyectado para cada componente

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

Donde:

ϕ_{pci} es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación a través de la componente con orientación i , en W;

j son las diferentes porciones que forman la parte de la componente de la envolvente.

K_j es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción en Watt por metro cuadrado Kelvin (W/m^2K);

A_{ij} es el área de la porción j con orientación i , en m^2 ;

t_{ei} es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinada según la tabla 1, en $^{\circ}C$;

t es el valor de la temperatura interior del edificio para uso habitacional, que se obtiene de la tabla 1, en $^{\circ}C$;

4. Cálculo de la ganancia de calor por radiación en el edificio proyectado

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

Donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste;

5. Cálculo de la ganancia de calor por radiación en el edificio proyectado de los componentes no opacos

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

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 parte de la componente de la envolvente

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, en Watt por metro cuadrado (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.