

La ruta de México hacia una economía sustentable de baja intensidad de carbono

Capítulo IV

Estado del arte de las tecnologías para el ahorro de energía en la edificación sustentable

Contrato No. SE-S 09/2010



PREPARADO POR:

**CENTRO MARIO MOLINA
para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.**

**Dr. Mario Molina
Presidente**

**Ing. Carlos Mena Brito
Director ejecutivo**

**M. en C. Rodolfo Lacy Tamayo
Coordinador de programas y proyectos**

**Arq. Jorge Vélez Guerrero
Jefe de Proyecto**

**Ing. Alan Gomez Sosa
Ingeniero de proyecto**

**Ing. Ariadna Reyes Sánchez
Ingeniero de Proyecto**

**Arq. Rossana Barojas Sarmiento
Ingeniero de Proyecto**

**Ing. Zitely Tzompa Reyes
Ingeniero de Proyecto**

ÍNDICE

IV	Estado del arte para el ahorro de energía en la edificación sustentable	10
IV.1	Situación de la edificación sustentable con una tecnología baja en emisiones de carbono, como una política de largo plazo	12
IV.2	Instrumentos de gestión para edificaciones sustentables	15
IV.2.1	Reino Unido	16
IV.2.2	Estado Unidos de Norte América	17
IV.3	Instrumentos de gestión para edificaciones sustentables	19
IV.4	Reducción en el consumo de la energía en edificios a través del aislamiento de la envolvente.....	24
IV.4.1	Tecnologías para la eficiencia energética de la envolvente.....	25
IV.4.1.1	Materiales termoaislantes.....	26
IV.4.1.2	Cristales.....	28
IV.4.1.3	Azoteas verdes.....	32
IV.5	El estado del arte en la arquitectura bioclimática	34
IV.5.1	Diseño Bioclimático.....	35
IV.5.2	Metodologías	36
IV.5.3	Zonificación Climática	38
IV.5.4	Modelos de comportamiento térmico.....	39
IV.5.4.1	Orientación	39
IV.5.4.2	Iluminación natural	41
IV.5.4.3	Diseño por viento.....	42
IV.5.4.4	Diseño solar pasivo	45
IV.6	Estado del arte del equipamiento en las edificaciones.....	51
IV.6.1	Iluminación.....	51
IV.6.2	Bombas de calor	54
IV.6.3	Sistemas solares de calentamiento de agua	57
IV.6.4	Celdas fotovoltaicas	60
IV.6.5	Energía eólica	61
IV.6.6	Aire acondicionado.....	63

FIGURAS

Figura IV.1 Consumo energético en México 2006 en el sector de las edificaciones (PJ/año)	11
Figura IV.2 Emisiones de CO ₂ por tipo de edificación en países seleccionados.	14
Figura IV.3 Estrategias Cero consumo energético o Cero emisiones de CO ₂ en el mundo.	16
Figura IV.4 Envoltente de un edificio	25
Figura IV.5 Comparación internacional del valor estándar del coeficiente global de transferencia de energía “U” en diferentes elementos de la envoltente.	26
Figura IV.6 Esquema del material de cambio de fase “ <i>ThermalCore</i> ” desarrollado por BASF.	28
Figura IV.7 Cristal dinámico	30
Figura IV.8 Fachada integral de iluminación natural	31
Figura IV.9 Eficiencia energética de las tecnologías de cristales comercializados en los Estados Unidos en el periodo 1973 - 2030.	32
Figura IV.10 Arreglo de una losa de azotea con aislamiento convencional y arreglo típico de una azotea verde.	33
Figura IV.11 Diseño bioclimático aplicado en un espacio	36
Figura IV.12 Esquema de Metodología que se sugiere seguir durante el diseño bioclimático de los edificios.	37
Figura IV.13 Esquema de orientación adecuada de la estructura	41
Figura IV.14 Dispositivos de luz natural	42
Figura IV.15 Esquema de ventilaciones cruzadas	43
Figura I.1 Patio de las ollas	44
Figura IV.17 Paisaje para ventilación natural	44
Figura IV.18 Circulación de aire en muro Trombe	45
Figura IV.19 Sistemas de control solar pasivos	46
Figura IV.20 Sistemas de diseño solar pasivos	47
Figura IV.21 Estrategias de enfriamiento pasivo	48
Figura IV.22 Aleros en techo dan sombra en invierno	48
Figura IV.23 Toldos para ventanas	49
Figura IV.24 Protección contra el sol por medio de arboles	49
Figura IV.25 Esquema comparativo de costos en cuanto a consumo energético anual en la edificación.	50
Figura IV.1 Diseños de LED	53
Figura IV.2 Comparación de rendimientos luminosos por tipo de lámpara	54
Figura IV.3 Bomba de calor con <i>sistema split</i>	55
Figura IV.4 Bombas de calor con sistema de circuito abierto	56
Figura IV.5 Arreglos horizontales de bombas de calor de circuito cerrado	56

Figura IV.6 Bomba de calor con arreglo vertical.....	57
Figura IV.7 Bomba de calor con arreglo para lago	57
Figura IV.8 Sistema termosifónico	58
Figura IV.9 Sistema híbrido para calentamiento solar de agua	59
Figura IV.10 Colector solar plano.....	59
Figura IV.11 Tubos de vacío y espejos CPC.....	60
Figura IV.12 Tecnología thin-film de celdas fotovoltaicas.....	61
Figura IV.13 Ejemplos de turbinas eólicas en edificaciones	62
Figura IV.14 Diseños de generadores mini-eólicos domésticos	63
Figura IV.15 Aire acondicionado con celdas fotovoltaicas.....	64

TABLAS

Tabla IV.1 Consumos promedio de energía eléctrica por tipo de edificación en países seleccionados.....	13
Tabla IV.2 Instrumentos usados en el mundo	19
Tabla IV.3 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.	20
Tabla IV.4 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.	22
Tabla IV.5 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.	24
Tabla IV.6 Metas de eficiencia energética en cristales para el año 2030 con respecto a la situación del año 2003 en los Estados Unidos.....	31
Tabla IV.7 Aspectos bioclimáticos que determinan la comodidad térmica al interior de un espacio	36
Tabla IV.8 Interrelación de variables para lograr la adecuación ambiental.....	37
Tabla IV.10 Orientaciones por espacio interior.....	40

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACELA	Ley de energía limpia de los EUA (<i>American Clean Energy Leadership Act</i>)
AFC	Celda de Combustible Alcalina (<i>Alkaline Fuel Cell</i>)
AIE	Agencia Internacional de Energía (<i>International Energy Agency</i>)
ANP	Área Natural Protegida
ARRA	Ley para la Recuperación y Reinversión de los EUA (<i>American Recovery and Reinvestment Act</i>)
ASU	Unidad de fraccionamiento de aire (<i>Air Separation Unit</i>)
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estándares (<i>American National Standards Institute</i>)
ASHRAE	Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>)
ASTM	Sociedad Americana para Evaluación y Materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>)
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros para Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>)
BEE	Oficina de Eficiencia Energética (<i>Bureau of Energy Efficiency</i>)
BEG	Oficina de Geología Económica (<i>Bureau of Economic Geology</i>) de la Escuela Jackson de Geociencias de la Universidad de Texas en Austin
BFBC	Caldera de Lecho Fluidizado Burbujeante (<i>Bubbling Fluidized Bed Combustion</i>)
BGL	British Gas/Lurgi
BREEAM	<i>BRE Environmental Assessment Method</i>
BS₁KW	Clima semiseco subtipo templado con lluvias en verano
CA	Corriente Alterna
CAFE	Eficiencia promedio del rendimiento del combustible (<i>Corporate Average Fuel Economy</i>)
CALgreen	California Green Building Standards Code
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
CBM	Metano de yacimientos de carbón (<i>Coal-bed methane</i>)
CCGN/NGCC	Ciclo Combinado de Gas Natural (<i>Natural Gas Combined Cycle</i>)
CCS	Captura y almacenamiento de carbono (<i>Carbon Capture and Storage</i>)
CD	Corriente Directa
CDMF	Fondo de Mecanismo de Desarrollo Limpio (<i>Clean Development Mechanism Fund</i>)
CEJAP	Ley del Trabajo de Energía Limpia (<i>Clean Energy Jobs and American Power Act</i>)
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CER	Certificado de reducción de emisiones (<i>Certified Emission Reductions</i>)
CFB	Carboeléctricas de lecho fluidizado circulantes (<i>Circulating Fluidized Bed</i>)
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CLASP	Programa Colaborativo de Etiquetado y Estándares (<i>Collaborative Labeling</i>)

and Standards Program)

CMM	Centro Mario Molina
CNCCP	Programa Nacional de Cambio Climático de China (<i>China's National Climate Change Programme</i>)
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
CONPET	Programa Nacional de racionalización del uso de los derivados del petróleo y del gas natural (<i>Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural</i>)
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos (<i>Department of Energy</i>)
ECBC	Código de Conservación de la Energía en Edificaciones de la India (<i>Energy Conservation Building Code</i>)
IEA	Agencia Internacional de Energía (<i>International Energy Agency</i>)
IGCC	Código Internacional de Construcción Verde (<i>International Green Construction Code</i>)
GRIHA	<i>Green Rating for Integrated Habitat Assessment</i>
ICCMV	Instituto de Ciencias de la Construcción de Vivienda de España
IEA	Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency)
IGCC	International Green Construction Code
INEGI	Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LBNL	Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley (<i>Lawrence Berkeley National Laboratory</i>)
NAHB	Asociación Nacional de Constructores de Vivienda (<i>National Association of Home Builders</i>)
NBC	Código Nacional de Construcción de la India (<i>National Building Code of India</i>)
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOX	Norma Mexicana
NRCC	Consejo Nacional de Investigación de Canadá (National Research Council of Canada, 2003)
OM	Tarifa para el cobro del servicio eléctrico mexicano que aplica para media tensión con demanda menor a 100 kW
ONNCE	Organismo Nacional de Normalización de la Construcción
PCES	Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables del Distrito Federal
SENER	Secretaría de Energía del Gobierno Mexicano
UNEP-SBCI	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Iniciativa para Edificaciones y el Clima (<i>United Nations Environment Programme-Sustainable Building and Climate Initiative</i>)

IV Estado del arte para el ahorro de energía en la edificación sustentable

A nivel internacional existe hoy una tendencia a desarrollar tecnologías limpias y eficientes en la edificación que buscan sustituir viejas prácticas de altos consumos energéticos, para reducir al mínimo su impacto al medio ambiente. En países de la comunidad europea, América del Norte y Asia y, cada vez más en el resto del mundo, se han creado organizaciones que califican y certifican de manera cuantitativa los logros alcanzados en las nuevas edificaciones. Sistemas como LEED en EUA, BREEM en el Reino Unido y CASBEE en Japón, por citar solamente algunos, son ejemplos de sistemas que miden la eficiencia ambiental de los edificios.

Esta tendencia a la edificación sustentable como círculo virtuoso está provocando que cada vez más iniciativas se sumen en un afán de sana competencia, siendo más el número de edificios que buscan una certificación como edificios verdes o sustentables. A estas iniciativas se han sumado los gobiernos nacionales preocupados por los problemas del cambio global, que buscan incidir en la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, fijándose metas y regulando, entre otros, los consumos energéticos así como, las emisiones de CO₂ provenientes del sector de las edificaciones.

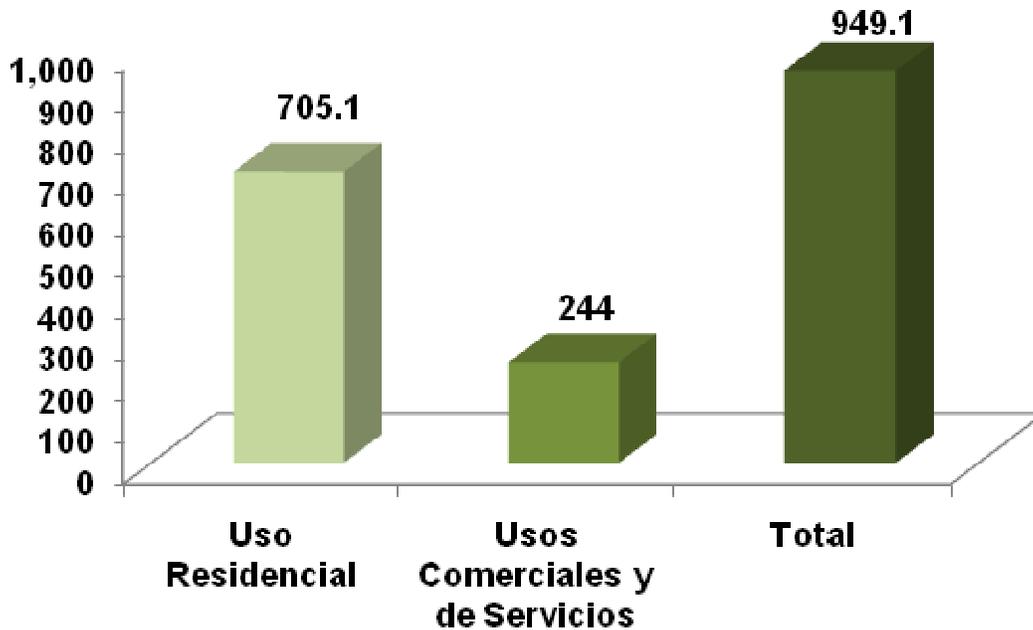
Por edificación sustentable entendemos al uso de prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente durante el ciclo total de vida del inmueble que reducen considerablemente o eliminan el impacto negativo; considera la planeación, selección de sitio, diseño, construcción, operación y demolición de edificaciones, y posterior adecuación para el reuso del predio. El término se aplica tanto a la renovación y reacondicionamiento de inmuebles preexistentes como a la construcción de nuevos edificios, sean habitacionales o comerciales, públicos o privados.

El documento contiene una semblanza del estado del arte para el ahorro energético en las edificaciones; de ninguna manera pretende abordar de forma exhaustiva el tema; cualquier pretensión de abarcar su totalidad quedaría corta, considerando que cada día surgen sistemas, métodos y tecnologías novedosos que aportan mayores beneficios a la temática de las edificaciones sustentables.

Antes de iniciar su desarrollo, se hace un breve recuento del consumo energético del sector de las edificaciones en el país. De acuerdo con información generada por la UNEP para México (United Nations Environment Programme, 2009)¹, el consumo total del sector de las edificaciones comerciales, residenciales y de servicio a ese año fue de 949.1 PJ anuales, 244 PJ correspondieron al sector comercial y de servicios y el mayor, 705 PJ al residencial; lo que representa una demanda total del 21% respecto al total nacional consumido en el año 2006, reportado en 4,524 PJ (Secretaría de Energía, 2007).

¹ Existen diferencias significativas en los datos presentados en el reporte de la UNEP (2009) respecto al balance de energía de la SENER (2006); los datos que se presentan consideran la primera fuente citada, por considerar que el estudio fue elaborado de manera posterior con correcciones que se estiman viables (el Balance Energético no incorporó los consumos energéticos de edificaciones con tarifas OM y HM, considerados consumidores mayores).

Figura IV.1 Consumo energético en México 2006 en el sector de las edificaciones (PJ/año)



Fuente: CMM con datos de (UNEP, 2009)

Asimismo, a partir de los resultados del estudio citado (United Nations Environment Programme, 2009) se estima una emisión total en el 2006 del orden de 75 MtCO₂e que corresponden, 50 MtCO₂e al sector de las edificaciones residenciales y 25 MtCO₂e a las edificaciones comerciales y de servicios, lo que significa, de acuerdo con este estudio, una aportación del sector inmobiliario del 12% a las emisiones totales emitidas.

Con objeto de disminuir el consumo energético en el sector de las edificaciones en México y por ende las emisiones de gases efecto invernadero, el Gobierno Mexicano está implementando el Programa Especial de Cambio Climático 2006-2012 (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2009), que establece políticas y estrategias sectoriales para reducir al 2050 en un 50% la emisión de gases efecto invernadero, respecto a las reportadas en el 2000.

La manera en que diferentes países del planeta están implementando sus políticas para incidir en la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero provenientes del sector inmobiliario es mediante la elaboración de Códigos y Normas sobre edificaciones sustentables.

En los apartados que se presentan a continuación se hace una semblanza del estado actual del arte en las edificaciones sustentables en el país, para el ahorro de la energía en el consumo final de las edificaciones:

El apartado “Situación de la edificación sustentable como una tecnología baja en emisiones de carbón, como una política de largo plazo” contiene un resumen a manera de ejemplo, de varias iniciativas que se han emprendido en diversas naciones del planeta que han

asumido su compromiso para lograr la reducción de las emisiones provenientes de las edificaciones, incluso han establecido metas para lograr abatirlas hasta el grado de hacerlas inocuas o de cero emisiones.

El apartado relacionado con la envolvente de los edificios hace un repaso sobre el estado del arte en el uso de los materiales de construcción y particularmente los utilizados como aislamiento a través de la envolvente en los edificios, que busca disminuir la transferencia energética entre exterior e interior, evitando pérdidas y ganancias energéticas y con ello disminuir e incluso eliminar el uso de equipos de calefacción y aire acondicionado, principalmente en las zonas de climas extremos del país, a fin de reducir los consumos energéticos.

El apartado dedicado al diseño bioclimático presenta el estado del arte en el uso de elementos y componentes del diseño arquitectónico, para mejorar las condiciones de confort en las edificaciones y disminuir la dependencia hacia el uso de equipos de alto consumo energético, con los cuales se pueden obtener ahorros importantes tanto económicos como ambientales.

Por último, el apartado dedicado a los aspectos de iluminación, uso de equipos y selección de ecotecnologías refiere algunos ejemplos del acervo tecnológico disponible para lograr un manejo eficiente en equipos, insumos y dispositivos de vanguardia y las tendencias observadas tanto en políticas públicas como su impacto en la regulación del mercado, orientadas hacia la disminución en el consumo de fuentes fósiles de energía y su sustitución paulatina hacia mercados de energía más limpios, como los provenientes de fuentes renovables, como la solar y eólica.

IV.1 Situación de la edificación sustentable con una tecnología baja en emisiones de carbono, como una política de largo plazo

El mundo se encuentra en una etapa de cambios constantes; sin embargo, para algunos sectores de la economía estos cambios han tenido serias repercusiones en la forma habitual de hacer las cosas. Esta situación se ha visto incrementada por el descubrimiento del fenómeno conocido como calentamiento global y sus impactos. A este respecto, uno de los sectores en los que se ha demostrado que podrían existir más aportaciones para mitigar dicho problema es el de la construcción, debido al gran consumo de recursos y de energía a lo largo de su ciclo de vida (inicial, operacional y final), que representa y que finalmente se ve reflejado en emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Especialmente en el ciclo de vida de una edificación, la etapa operacional es la que más energía consume; representa un poco más del 80%. Esta energía es usada principalmente para calentamiento o enfriamiento, iluminación, ventilación, equipamientos y aparatos eléctricos, etc.; sin embargo, las etapas inicial y final también juegan un papel importante. Dada esta situación, el largo tiempo de vida de una edificación (40 a 50 años en promedio) es de suma importancia, en la cual se deben enfocar esfuerzos para mitigar el impacto ambiental, tanto en la manera tradicional de construir las edificaciones como durante la fase operacional. Lo anterior plantea grandes retos y oportunidades, pues tan sólo aplicando la tecnología existente se pueden obtener ahorros desde un 30 hasta un 50 por ciento de los consumos actuales energéticos sin necesidad de incrementar los costos (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2008).

La manera normal en que opera el sector de la edificación y las pocas o muchas deficientes regulaciones no tienen el alcance deseado y además, adolecen de una estrategia con visión integral, lo que imposibilita el alcanzar la máxima eficiencia en las mismas. No obstante lo anterior, en los últimos 30 años ha existido un número creciente de países tanto industrializados como en vías de desarrollo que han creado algún tipo de estándar, con motivaciones diversas, de tipo políticas, tratados internacionales, asistencia internacional, preocupación por la seguridad energética y el cambio climático (UNEP Sustainable Buildings & Climate Initiative, 2009).

En la siguiente tabla se presentan los consumos promedio en diversos tipos de edificaciones para algunos países desarrollados, donde sobresale de manera excepcional el caso de Japón, quien prácticamente duplica los valores de consumo respecto al resto de los países analizados (incluyendo México).

Tabla IV.1 Consumos promedio de energía eléctrica por tipo de edificación en países seleccionados

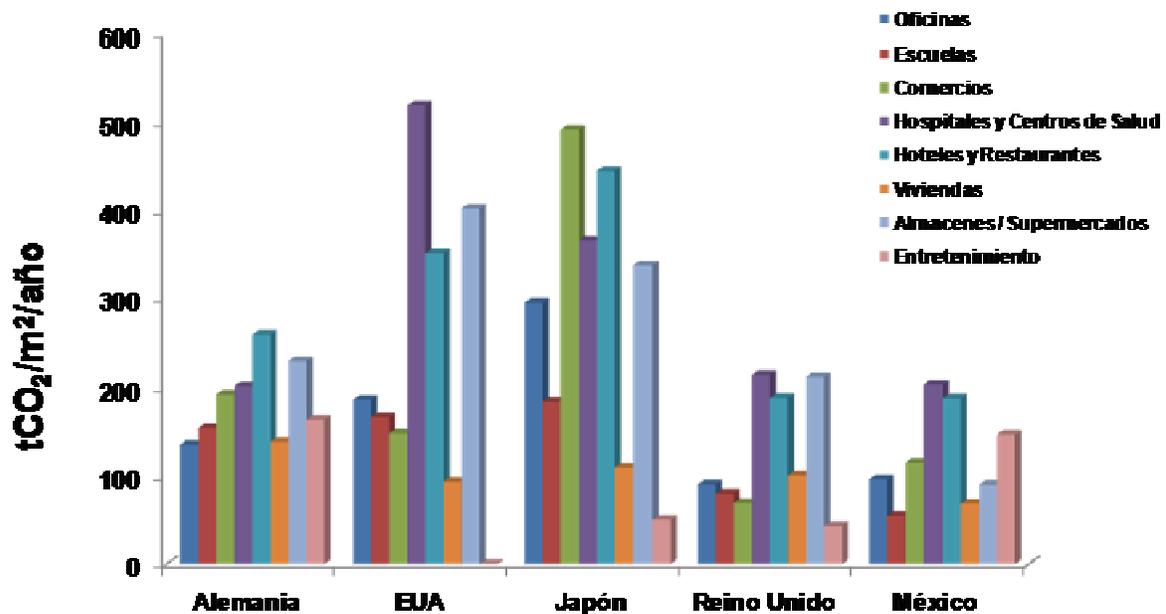
SECTOR	CONSUMO DE ELECTRICIDAD kWh/m ² /año				
	Alemania	EUA	Japón	Reino Unido	México
Oficinas	215	293	538	215	159
Escuelas	245	262	336	190	90
Comercios	305	233	896	165	190
Hospitales y Centros de Salud	320	814	666	510	336
Hoteles y Restaurantes	410	551	811	448	311
Viviendas	220	147	200	239	113
Almacenes / Supermercados	365	631	615	505	148
Entretenimiento	260	nd	92	103	243

Nota: El dato para edificaciones de Entretenimiento en E.U.A. no se encuentra disponible.

Fuente: CMM con datos de Alemania (Rauschen, 2008), (Institut Wohnen und Umwelt, 2009), E.U.A. (Gupta, 2009), (Leonardo Academy, 2009), Japón (Japan Sustainable Building Council, 2007), (Japan Sustainable Building Council, 2008), Reino Unido (Department for Communities and Local Government, 2007) y México (Comisión Nacional de Vivienda, 2007) y (UNEP Sustainable Buildings & Climate Initiative, 2009).

Debido a los altos consumos energéticos de cada país presentado, las emisiones estimadas de CO₂ se ven reflejadas de igual manera respecto al factor de emisión respectivo por generación de energía. Japón nuevamente sobresale con prácticamente el doble de emisiones con respecto a Alemania y 1.3 veces más que el Reino Unido, quedando Estados Unidos como el segundo país con mayor emisión por metro cuadrado anual. Estas cifras indican claramente por que los países analizados han escogido el sector de las edificaciones como un pilar para cumplir sus compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto.

Figura IV.2 Emisiones de CO₂ por tipo de edificación en países seleccionados.



Nota: El dato para edificaciones de Entretenimiento en E.U.A. no se encuentra disponible.

Fuente: CMM con de Alemania (Rauschen, 2008), (Institut Wohnen und Umwelt, 2009), E.U.A. (Gupta, 2009), (Leonardo Academy, 2009), Japón (Japan Sustainable Building Council, 2007), (Japan Sustainable Building Council, 2008), Reino Unido (Department for Communities and Local Government, 2007) y México (Comisión Nacional de Vivienda, 2007) y (UNEP Sustainable Buildings & Climate Initiative, 2009).

Debido a esta situación, la mayoría de las regulaciones que se han aprobado en los últimos tiempos cuentan con una estrategia y visión de largo plazo, por lo que se está proponiendo principalmente regulaciones e incentivos que tienen por objetivo lograr edificaciones de CERO consumo de energía fósil o CERO emisiones de gases de efecto invernadero. A la fecha, algunas de las metas más ambiciosas que se han presentado corresponden a países como Estados Unidos de América, Japón y la Unión Europea (NHBC Foundation, 2009), (Institute of Energy Economics, 2010) y (European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings, 2008). Sin embargo, esto no significa que en los países en vías de desarrollo no existan acciones de mitigación; actualmente, tanto China como la India y Brasil ya cuentan con diversos instrumentos (voluntarios y obligatorios) para disminuir sus consumos energéticos, aunque aún no han establecido ninguna meta de largo plazo, por lo que se espera que en los próximos años se hagan más pronunciamientos al respecto (International Energy Agency, 2008).

Para construir dichas estrategias, los países desarrollados han considerado los siguientes aspectos:

- Creación de un concepto del tipo de “edificación que se desea”, en términos principalmente de ahorro de la energía. Un documento publicado por la UNEP, recomienda iniciar en una primera etapa con la regulación de edificaciones de

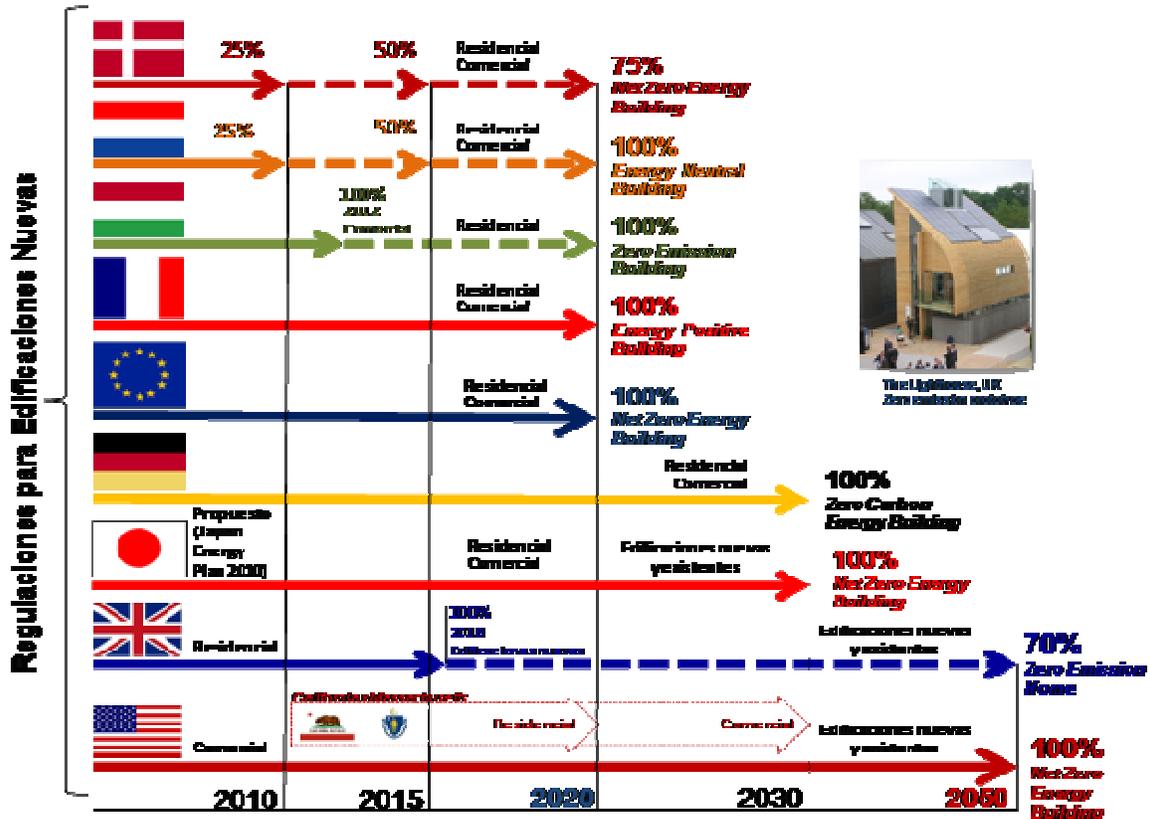
nueva construcción, ya sean de tipo residencial o comercial y, en una segunda etapa continuar con la regulación a las edificaciones existentes en los mismos ámbitos, argumentando que es mucho más fácil realizar cambios desde la etapa de diseño para convertir o incluso generar la idea del proyecto de una manera más eficiente que realizar cambios y adecuaciones a los existentes (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2007).

- Definir cómo se regularán las edificaciones: Consumo Energético o Emisiones de CO₂
- Establecer la situación particular vigente del país, tomando en cuenta su situación económica en el mercado de las edificaciones, así como las tecnologías disponibles y su tiempo de penetración, etc.
- Fijar los objetivos de manera clara, alcanzable, actualizable y medible. Se debe precisar el tipo de edificación (nueva o usada) así como su uso (residencial, comercial, etc.)
- Determinar un periodo de tiempo razonable para alcanzar dicha meta (20 a 40 años es lo usual; por supuesto, existen ciertos factores necesarios a considerar dependiendo del país en cuestión). Según la IEA se propone que al año 2030 todas las edificaciones sean cero consumos energéticos, siempre y cuando las políticas y buenas prácticas requeridas sean aplicadas a gran escala y a nivel global (Laustsen, 2009).
- Desarrollar una ruta crítica o estrategia de largo plazo para alcanzar la meta planteada, misma que deberá estar basada tanto en instrumentos obligatorios como voluntarios y económicos (incentivos), ya sean existentes o de nueva creación.

IV.2 Instrumentos de gestión para edificaciones sustentables

Para realizar la presente investigación se han escogido los casos de dos países, que como se verá más adelante, son punta de lanza en el tema de las políticas públicas de largo plazo referentes a las edificaciones sustentables. Los países analizados son el Reino Unido y Estados Unidos por sus estrategias de CERO consumo energético o Cero emisión de CO₂. En la siguiente figura se observan nueve diferentes países que han optado por una estrategia a largo plazo de disminución en sus emisiones.

Figura IV.3 Estrategias Cero consumo energético o Cero emisiones de CO₂ en el mundo.



Fuente: CMM con datos de Países Dinamarca Ministerio de Transporte y Energía de Dinamarca (The Danish Ministry of Transport and Energy, 2010), Alemania, Holanda, Hungría, Francia (European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings, 2008), Unión Europea (European Parliament, 2009), Japón (Institute of Energy Economics, 2010), Reino Unido (Department for Communities and Local Government, 2006), (Parliament of the United Kingdom, 2008), E.U.A. (Senate and House of Representatives, 2007), California (California Public Utilities Commission, 2008) y Massachusetts (Massachusetts Zero Net Energy Buildings Task Force, 2009).

IV.2.1 Reino Unido

Países como el Reino Unido se han mantenido a la vanguardia en la mejora y aplicación de su marco regulatorio; su llave se basó en la entrada en vigor del *Code for sustainable Homes* (Department for Communities and Local Government, 2006). El Código es un instrumento regulatorio que en su primera fase es voluntario (2007) y obligatorio a partir de 2008. Mide la sustentabilidad a través de elementos clave en el diseño y construcción de las viviendas de nueva creación como un paquete completo. Se encuentra basado en el *Building Research Establishment's (BRE) EcoHomes System* que eventualmente será reemplazado por el presente código, además de las regulaciones mínimas existentes exigidas por las leyes del país (BRE Global Ltd., 2010).

Entre otras cosas, el Código establece:

1. Estándares de eficiencia en el uso de agua (interno/externo) y de la energía.
2. Su cumplimiento mínimo más una aportación voluntaria de las normatividades relativas a materiales y residuos sólidos urbanos.
3. Un sistema de calificación simple.
4. Incluye el diseño del edificio bajo un modelo sustentable, que considera el ciclo de vida de la edificación.

Las viviendas pueden alcanzar el calificativo de “Sustentable” desde una hasta seis estrellas; una estrella cubre un poco más de los requisitos exigidos actualmente por la ley y seis estrellas demuestran un desempeño ejemplar de la vivienda en cuanto al uso de la energía y del agua. Las áreas a calificar son: Energía y emisiones CO₂, contaminación ambiental, agua, salud y bienestar, materiales, administración y uso de la vivienda, ecología y residuos.

Este Código resulta básico: busca que todas las viviendas nuevas tengan bajos consumos energéticos combinados con energías renovables para así lograr una emisión “0” de CO₂ a partir del año 2016. La meta se ha planteado de la siguiente manera:

- 2010 – 25% de la Viviendas deberán ser más eficientes
- 2013 – 44% de la Viviendas deberán ser más eficientes
- 2016- 100% de la Viviendas deberán ser más eficientes

Para 2050 se espera que un 70 por ciento del total de las viviendas en el Reino Unido (nuevas y existentes) cumplan con la meta de cero emisiones, que representa una disminución aproximada del 80% de las emisiones generadas en 2009. Una vivienda en Reino Unido consume 200 kWh/m² al año, lo que representa una emisión de 38 KgCO₂/m² (Parliament of the United Kingdom, 2008).

IV.2.2 Estado Unidos de Norte América

Las metas para reducir el consumo energético en las edificaciones se establecen en la sección 422 del *Energy Independence and Security Act of 2007* (Senate and House of Representatives, 2007), que propone alcanzar para 2025 una edificación totalmente rentable con consumo cero de energía y a partir del año 2030 hacer obligatorio este consumo cero. Para lograr esta meta, el Departamento de Energía en colaboración con otras organizaciones presentó una iniciativa que impulsa a las edificaciones comerciales con consumo energético “cero”(Net-Zero Energy Commercial Building Initiative). Esta iniciativa, al igual que en el caso del Reino Unido, busca que las edificaciones generen tanta energía como consuman a través de su eficiencia energética y la generación de energía con medios alternativos, solamente difieren en el tipo de edificación a la que se enfocan (U.S. Department of Energy, 2010b).

- 2030 todas las edificaciones comerciales,
- 2040 el 50 por ciento de las edificaciones existentes,
- 2050 todo el inventario de edificaciones comerciales,

La misma ley establece que todos los edificios de gobierno serán emisión cero (carbón neutral) para 2030. Para construir la línea base, la iniciativa se apoya en los códigos de energía locales o de la ASHRAE con sus normativas voluntarias 90.1, 90.2 y 189.1, así

como, en las Guías de Diseño avanzado y en alianzas comerciales, entre otros (U.S. Department of Energy, 2010a) y (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010).

Un ejemplo de lo anterior son los sistemas de California y Massachusetts, considerados los más avanzados a nivel estatal. Ambos Estados pretenden reducir sus consumos energéticos a cero en edificaciones residenciales y comerciales en 2030 (California Building Standards Commission, 2008) y (Massachusetts Zero Net Energy Buildings Task Force, 2009).

California en particular aprobó en el año de 2007 el Código de Edificación Verde (CALgreen), que entró en vigor de manera voluntaria en el 2009 y a partir de 2011 será obligatorio. Dicho instrumento dispone de una combinación de medidas obligatorias y voluntarias, que en la actualidad representa la normatividad más exigente que existe en el país. Se aplica a todas las edificaciones de tipo: Residencial, Comercial, Escolar, Hospitalaria, que sean financiados por el Estado, tanto nuevas como usadas. Cuenta con una división por zonas climáticas (16 en total) que definen los parámetros mínimos de eficiencia para cada zona. Las áreas que se abarcan dentro de la Edificación se encuentran divididas de acuerdo a los rubros potenciales de mejora con un enfoque sistémico de ciclo de vida, como son:

1. Planeación y Diseño
2. Eficiencia Energética
3. Uso y Conservación del Agua
4. Conservación de Materiales y eficiencia de recursos
5. Calidad del Ambiente

De acuerdo con fuentes oficiales se espera que al 2020 el Estado reduzca: 3 millones de toneladas de CO₂ equivalente; para ello establece medidas como: Selección y preservación del sitio, aspectos bioclimáticos, 1 por ciento de la energía total proyectada debe provenir de fuentes renovables, instalar infraestructura para vehículos eléctricos y bicicletas, disminuir en un 20 por ciento el uso de agua interior, con metas voluntarias adicionales y escalables desde un 30 hasta un 40 por ciento, reutilizar un 75 por ciento de la estructura anterior cuando se reúsan edificaciones, utilizar materiales regionales, supervisiones obligatorias a equipos energéticos, como aire acondicionado, calefacción y otros, en edificaciones con superficie mayor a los 10 mil pies cuadrados, etc.

Adicionalmente, en 2010 se creó el Código Internacional de Construcción Verde (IGCC), también basado en el mismo Código de California. Se trata de una compilación de normatividades y estándares la mayoría de ellos pertenecientes al Consejo Internacional de Códigos ubicado en Estados Unidos de Norteamérica. Este es el primer código internacional que se genera con aplicabilidad completa para estados o países que carecen de regulaciones en la materia. Cuenta con medidas obligatorias que permiten su adaptación a cualquier país; se basa en la aplicación simultánea de otros códigos internacionales creados por la misma organización u otras como NAHB, ANSI, ASTM y ASHRAE, asimismo, contempla medidas voluntarias que se vuelven obligatorias sí se decide adoptarlas (International Code Council, 2010).

IV.3 Instrumentos de gestión para edificaciones sustentables

De acuerdo con un estudio realizado por la UNEP *Sustainable Buildings and Construction Initiative* (SBCI), hasta el año 2007 existían en el mundo más de 30 diferentes instrumentos para crear políticas públicas eficientes en cuanto a consumo energético, 20 son los más usados (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2007).

Los Estados Unidos, el Reino Unido, la IEA y UNEP-SBCI coinciden en señalar la importancia de usar como mínimo instrumentos regulatorios en combinación con otras herramientas (económicas, fiscales e informativas) para asegurar el impacto positivo en la reducción de emisiones y en los consumos de energía (International Energy Agency, 2008), (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2007). En la siguiente tabla se muestran los tipos de instrumento acordes con su categoría.

Tabla IV.2 Instrumentos usados en el mundo

Control y Regulatorios		Económicos y de mercado	Fiscales e Incentivos	Información, Educación y Voluntarios
Normativos: Estándares en equipos Códigos de Edificación Regulaciones de procuración Obligaciones y cuotas para eficiencia energética	Informativos: Programa de auditoría obligatoria Administración de la demanda energética en la empresa de generación de energía (UDSM) Programas de etiquetado y certificación obligatorios	Mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto Consultoría en desempeño energético Certificación de eficiencia energética Procuramiento cooperativo Esquemas de energía eficiente	Creación y alza de Impuestos Exenciones y/o reducciones en Impuestos Cargos a la beneficencia pública Subsidios al capital y prestamos	Certificaciones y etiquetados voluntarios Programas de liderazgo públicos Campañas de educación, información y sensibilización Facturación detallada y programas de divulgación Acuerdos voluntarios negociados

Fuente: (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2007)

Para dar una idea de los instrumentos tanto regulatorios como voluntarios que aplican varios países tanto desarrollados como en vías de desarrollo a la edificación sustentable, se realizó un estudio que evaluó un universo de 16 sistemas en nueve países (incluyendo México) que cubre tanto certificaciones voluntarias (50 por ciento) como códigos y normas obligatorios (50 por ciento). El noventa por ciento de ellos fueron aplicables a la totalidad del territorio del país del que proviene el instrumento; seis de ellos tienen potencial de aplicación internacional y solamente uno fue para aplicación local, que es el caso del Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables del Distrito Federal en México.

Tabla IV.3 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.

País	Sistema/Norma/Código
Japón	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)
Estados Unidos de America	Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)
	California Green Building Standards Code (CALgreen)
	International Green Construction Code (IGCC)
España	Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco
	Código Técnico para la Edificación
Alemania	Passiv Haus
Reino Unido	BRE Environmental Assessment Method (BREEAM)
	Code for Sustainable Homes
México	Código de Vivienda de Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI)
	Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables del Distrito Federal (PCES)
Emiratos Arabes Unidos (Dubái)	Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables ESTIDAMA
Canadá	Green Globes system
India	Energy Conservation Building Code (ECBC)
	National Building Code of India (NBC)
	Green Rating for Integrated Habitat Assessment (GRIHA)

Nota: ESTIDAMA no es un acrónimo sino una palabra en árabe que significa sustentabilidad

Fuente: CMM 2010

Todos los instrumentos mostrados establecen un sistema de calificación basado en formulaciones matemáticas, aunque en los casos de las normatividades se hacen combinaciones de metodologías matemáticas con límites máximos permisibles. El 75 por ciento de los instrumentos estudiados cuentan dentro del documento con las formulas y ejemplos de operaciones necesarias para realizar los cálculos, así como la identificación de las constantes y variables necesarias.

Adicionalmente, de acuerdo a los criterios aplicados, se estima que un 75 por ciento de los instrumentos cuentan con una baja dificultad de aplicación; es decir, los cálculos del sistema son fáciles de realizar. Esta consideración sin embargo puede ser de alguna manera un tanto subjetiva, pues supone que se debe estar familiarizado con los temas y con la situación del lugar o país.

De acuerdo con la IEA una importante herramienta para facilitar la aplicación de cualquier instrumento normativo o de certificación es un software con el cual es posible realizar cálculos de uno o varios parámetros exigidos. Sin embargo, es conveniente mencionar que poco menos del 45 por ciento de los instrumentos dispone de un programa automatizado como el mencionado y la mayoría pertenecen a certificaciones voluntarias (International Energy Agency, 2008).

Por otro lado, aproximadamente un 60 por ciento de los instrumentos ya mencionados requieren de la participación de un ente que los aplique y los evalúe (supervisor), para asegurar la transparencia e imparcialidad del sistema.

Las diferencias en cuanto al tipo de edificación por sector al cual es posible aplicar un instrumento también son un aspecto importante a tomar en cuenta. De los 16 instrumentos políticos aquí mencionados el 88 por ciento han sido desarrollados para aplicarse tanto a edificaciones residenciales como comerciales, tomando dentro de estos últimos no solo a oficinas, sino también escuelas, hospitales, restaurantes y hoteles, etc.). En este sentido, generalmente la mayoría de las certificaciones, cuando se acaban de crear, son únicamente para edificaciones comerciales por ser éste el mayor nicho de negocio, sin embargo conforme van madurando los sistemas pueden tener acceso también a sectores como el residencial; un ejemplo claro es el *Code for Sustainable Homes* del Reino Unido que antes de volverse obligatorio era parte del sistema de Certificación BREEAM. Por otro lado, la totalidad de las normatividades o códigos trabajan con ambos sectores y en el caso de las certificaciones estudiadas solamente *Green Globes* de Canadá no cuenta con acceso al sector residencial.

Otro parámetro que analizó fue la necesidad de realizar algún pago por tener el derecho de aplicar el instrumento en su edificación. Por supuesto, todas las normatividades se encuentran exentas de pago alguno e incluso en algunos casos también hay certificaciones como es PCES del Distrito Federal (México) (Gobierno del Distrito Federal, 2008) y el sistema *ESTIDAMA* de Emiratos Árabes Unidos (Abu Dhabi Urban Planning Council, 2008) en que tampoco requieren de pagar un derecho. En total diez de los sistemas carecen de costo alguno, mientras que para el resto es necesario realizar un pago. Este factor del pago para acceder al sistema es determinante para lograr el éxito en la implementación de un determinado sistema y su penetración en los estratos más amplios de la sociedad. Lo anterior se ve reflejado prácticamente en todas las certificaciones que aplican a edificaciones residenciales de estratos sociales altos o bien, grandes conjuntos comerciales y de servicio.

La mayoría de los instrumentos aplican a las nuevas edificaciones. Esto se debe a la dificultad para restaurar edificaciones preexistentes que teóricamente deben tener un alto consumo energético y que por ende pueden aumentar mucho sus costos de renovación; evidentemente es mejor planear y diseñar una edificación desde un principio de una manera eficiente. Todos los instrumentos mencionados pueden aplicarse sin reservas tanto a edificaciones nuevas como a ampliaciones; solamente el 63 por ciento se pueden usar para edificaciones usadas.

Tabla IV.4 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.

País		Japón		Estados Unidos de America		España		Alemania		Reino Unido		México		Emiratos Arabes Unidos (Dubái)		Canadá		India	
		CASBEE	LEED	CALgreen	IGCC	Guía País Vasco	Código Técnico para la Edificación	Passiv Haus	BREEAM	Code for Sustainable Homes	Código CONAVI	PCES (Distrito Federal)	Estidama	Green Globes	Código de Conservación de la Energía	Código Nacional de Construcción	GRIHA (TERI)		
Tipo	Esquema	V	V	V/O	V/O	V	O	V	V	V/O	V/O	V	V	V	O	O	V/O		
	Certificación																		
	Norma ó Código																		
Alcance	Local																		
	Nacional																		
	Internacional																		
Características	Sistema de Calificación																		
	Límites Máximos Permisibles																		
	Fórmulas y Cálculos																		
	Software de apoyo																		
Complejidad	Supervisión por medio de un Tercero																		
	Alta																		
Registro	Baja																		
	Costo																		
	Gratuito																		

Nota: Cumple No Cumple V: voluntario O: Obligatorio

Fuente: CMM 2010

Los análisis realizados reflejan que un número importante de los instrumentos (el 69 por ciento) contemplan una perspectiva de largo plazo al considerar dentro del análisis el ciclo de vida de la edificación, aspecto importante si se considera que el impacto de las edificaciones se extiende en promedio a 50 años.

Llama la atención que contrario a las recomendaciones de la IEA y UNEP-SBCI no todos los instrumentos consideran la ubicación del edificio dentro de una regionalización climática (solamente el 50 por ciento dentro del análisis realizado), aspecto que resulta fundamental para regular los consumos energéticos y las emisiones de gases efecto invernadero

(International Energy Agency, 2008) y (UNEP Sustainable Buildings & Construction Initiative, 2008). De igual manera un 70 por ciento de los instrumentos consideran los aspectos del diseño relacionados a la bioclimática (orientación, ventilación e iluminación natural), otro aspecto que tiene gran influencia en los futuros consumos energéticos de la edificación, particularmente en su fase de operación.

Respecto al uso y conservación eficiente de la energía, los porcentajes se distribuyen de la siguiente manera:

- El 81 por ciento de los instrumentos contienen parámetros para establecer el coeficiente global de transferencia energética en muros, techos y entrepisos.
- La totalidad considera aspectos y/o límites máximos permisibles para regular el uso de la energía en equipos de aire acondicionado y calefacción.
- El 100 por ciento considera regulaciones y/o límites máximos permisibles de iluminación eficiente en interiores y exteriores.
- Un 88 por ciento de los instrumentos analizados consideran además el uso de equipamiento (de hogar y oficina) de bajo consumo tanto en operación como en su modo de hibernación “stand-by”.
- El 75 por ciento propone utilizar energías alternativas, principalmente calentador solar, para el calentamiento del agua.
- Un 94 por ciento promueve la generación de energía de manera interna fuentes renovables, como la solar (las celdas fotovoltaicas) y la mini eólica, siendo la solar la más usada y recomendada además por la IEA (International Energy Agency, 2008).

Finalmente, se encontró que la métrica usada en más del noventa por ciento de los casos está directamente relacionada con los consumos energéticos medidos en kilowatts-hora por metro cuadrado (kWh/m²); también, se identificó en algunos instrumentos cierta tendencia a regular las emisiones de CO₂, como son los casos de los sistemas CASBEE (Japón), BREEAM (Reino Unido) y *Code for Sustainable Homes* (Reino Unido).

En total se evaluaron 36 parámetros respecto a sustentabilidad, aplicabilidad y alcances en cada uno de los sistemas otorgando a cada parámetro un valor en puntaje de “1” sí el sistema cuenta con el o “0” sí el sistema no lo contempla o no lo cubre. Como resultado se encontró que dos instrumentos obligatorios (normativos) son los más exigentes y pertenecen a Estados Unidos (CALgreen e IGCC), seguidos de dos instrumentos voluntarios como son BREEAM de Reino Unido y CASBEE de Japón. Cada uno de estos instrumentos es la base fundamental para alcanzar las metas establecidas de largo plazo en sus respectivos países. Un sistema que ha llamado la atención por los parámetros cubiertos y por pertenecer a un país en vías de desarrollo es el GRIHA de la India, sin embargo, su aplicación es voluntaria, por lo que su alcance resulta hasta cierto punto limitado (The Energy and Resources Institute, 2006).

Tabla IV.5 Instrumentos de apoyo a las políticas públicas analizados.

Posición	Sistema/Norma/Código	País	Puntaje
1	IGCC	E.U.A.	33
2	CALgreen	E.U.A.	32
3	BREEAM	Reino Unido	32
4	CASBEE	Japón	31
5	LEED	E.U.A.	31
6	Code for Sustainable Homes	Reino Unido	31
7	GRIHA (TERI)	India	30
8	PCES Estidama	Emiratos Árabes Unidos	27
9	Green Globes	Canadá	27
10	Código Técnico para la Edificación	España	26
11	PCES (Distrito Federal)	México	26
12	Código CONAVI	México	25
13	Guía País Vasco	España	24
14	Passiv Haus	Alemania	21
15	Código Nacional de Construcción	India	18
16	Código de Conservación de la Energía	India	15

Fuente: CMM 2010

IV.4 Reducción en el consumo de la energía en edificios a través del aislamiento de la envolvente.

La envolvente de un edificio se compone por el techo, los muros exteriores, las ventanas y los pisos que funcionan como una barrera térmica y tienen un papel determinante en la cantidad de energía necesaria para mantener un ambiente confortable en el interior de la edificación, ver figura siguiente. Minimizar la transferencia de energía de la envolvente es una oportunidad importante para reducir el consumo de energía por iluminación y por el uso de sistemas de aire acondicionado, que representa el 20% y 25% del total del consumo energético de un edificio residencial en México, respectivamente (UNEP - SBCI, 2009). En consecuencia, la eficiencia energética de la envolvente puede reducir notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la edificación.

Figura IV.4 Envoltente de un edificio



Fuente: CMM con datos de (Burriel, 2006)

Existen dos aspectos que contribuyen a minimizar la transferencia de energía de la envoltente y que al combinarse maximizan la eficiencia energética, el primero se relaciona con la incorporación de elementos de diseño bioclimático en la construcción de un edificio pues se aprovecha la energía ambiental de su localización a través de una adecuada orientación; el segundo se refiere a la incorporación de materiales termoaislantes, cristales eficientes y azoteas verdes al diseño y construcción de una edificación.

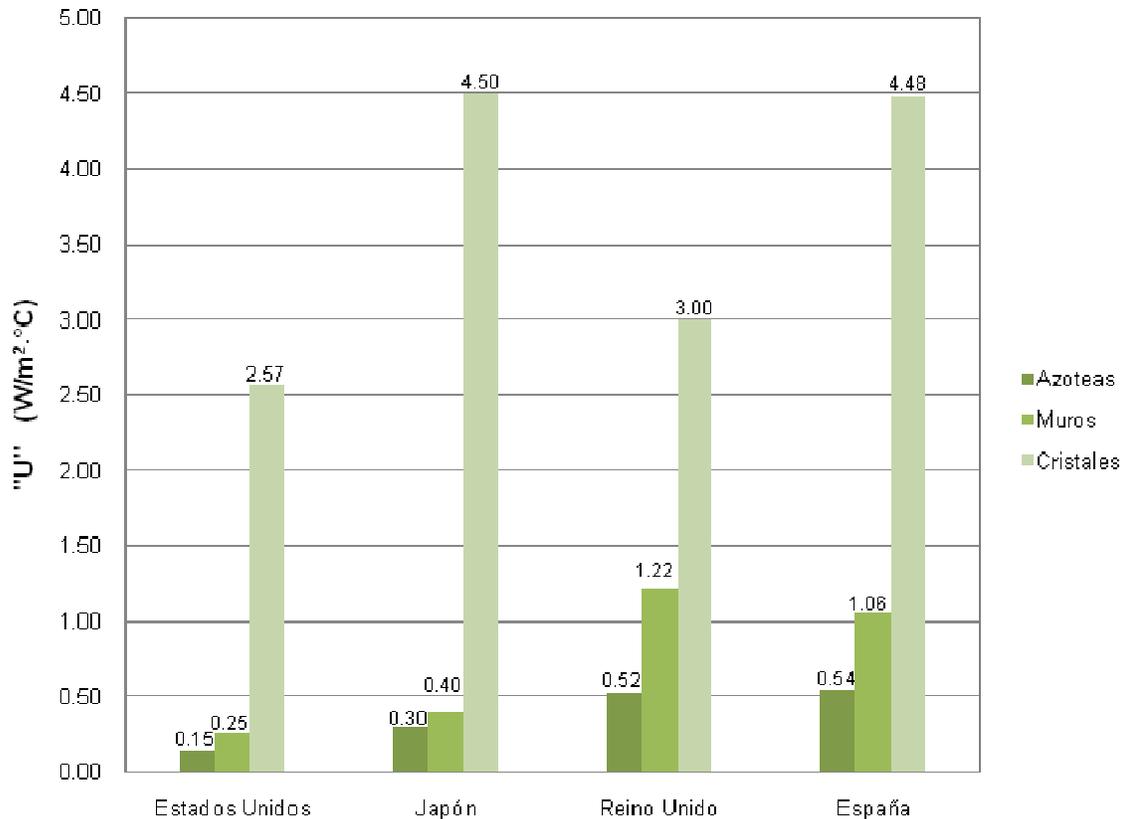
La eficiencia térmica de los elementos de la envoltente se mide a través del coeficiente global de transferencia de energía y se representa con la letra "U", la propiedad inversa se conoce como resistencia térmica "R".

En este documento se describe el estado del arte de las tecnologías relacionadas con los materiales termoaislantes, cristales y azoteas verdes a nivel internacional.

IV.4.1 Tecnologías para la eficiencia energética de la envoltente.

La eficiencia energética de los elementos de la envoltente en países como los Estados Unidos y el Reino Unido ha sido ampliamente analizada y se refleja en sus códigos de energía en los cuales se especifica el coeficiente global de transferencia de energía máximo de elementos de la envoltente. A continuación se presenta el valor estándar de "U" en ventanas, muros y azoteas que se define en la normatividad de los siguientes países: Estados Unidos, Japón, Reino Unido y España.

Figura IV.5 Comparación internacional del valor estándar del coeficiente global de transferencia de energía "U" en diferentes elementos de la envolvente.



Fuente: CMM con datos de la Agencia Internacional de Energía (*International Energy Agency*, 2009), Comité sobre Cambio Climático del Reino Unido (*Committee on Climate Change*, 2008) y del Instituto de Ciencias de la Construcción de Vivienda de España (ICCMV, 2008)

Como se observa en la gráfica anterior, los elementos de la envolvente que poseen mayores niveles de transferencia de energía son los cristales para todos los países analizados. Los muros reciben una significativamente menor transferencia de energía seguidos cercanamente por las azoteas. Se puede inferir de la figura, que las partes transparentes de la envolvente, es decir, los cristales deben de garantizar una mayor eficiencia energética.

A continuación se presentan las tecnologías existentes en materiales termoaislantes, cristales y azoteas verdes.

IV.4.1.1 Materiales termoaislantes

Los materiales termoaislantes son aquellos que poseen altos niveles de resistencia térmica (R) y que comparados con los materiales convencionales tienen un mejor desempeño energético. La selección de los materiales termoaislantes es una tarea compleja en la que

intervienen varios factores como el clima y las necesidades de aislamiento del elemento de la envolvente que se pretende aislar (azotea o muros) que dependen de la ganancia solar de su orientación. A continuación se presenta una recapitulación de los materiales termoaislantes disponibles en el mercado.

Rollos termoaislantes. Este tipo de materiales son los más utilizados en edificaciones para el aislamiento de muros y azoteas, se elaboran con fibra de vidrio, lana mineral o fibras de plástico y se comercializan en rollos o bloques; los valores de R varían de $0.51 \text{ m}^2/\text{W}\cdot\text{C}$ a $0.76 \text{ m}^2/\text{W}\cdot\text{C}$ de acuerdo a su espesor (DOE, 2010).

Concreto aislante. Los concretos termoaislantes se implementan en las estructura de los muros principalmente y se interconectan con bloques de concreto termoaislante que poseen cierta proporción de polietileno y poliuretano, el valor de la resistencia térmica de los concretos aislantes varía de acuerdo a su composición química y a la calidad de sus agregados, pero, regularmente son mayores a $3 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ (DOE, 2010)

Materiales de relleno de aislamiento. Los materiales de relleno son pequeñas partículas de celulosa, fibra de vidrio y lana mineral que generalmente contienen un alto porcentaje de materiales reciclados. Los materiales de relleno de celulosa tienen una resistencia térmica que varía de $0.56 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ a $0.67 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$, los de fibra de vidrio de $0.39 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ a $0.48 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ y los rellenos de lana mineral de $0.53 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ a $0.58 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ (DOE, 2010).

Paneles de aislamiento estructural. Los paneles de aislamiento estructural son elementos prefabricados que se utilizan en muros, azoteas, pisos y entrepisos. Estos elementos garantizan un ahorro de energía aproximado de 12 a 14% (DOE, 2010), se colocan en la parte interior del armado estructural. Existen tres tipos de paneles, los de poliestireno que tienen una resistencia térmica de $0.70 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ por cada 2.5cm de espesor, los de poliisocianurato y poliuretano que tienen una resistencia de $1.23 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ a $1.58 \text{ m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ por cada 2.5cm de espesor (DOE, 2010).

Materiales de Cambio de Fase (Phase Change Materials). La mayor parte de los edificios en el mundo se construyen con materiales convencionales como ladrillo, acero, cemento, concreto, madera, etc. Los materiales termoaislantes expuestos anteriormente muestran ventajas en términos de ahorro de energía. Sin embargo, los materiales de cambio de fase se muestran como los más eficientes al tener un mejor comportamiento energético.

Un material de cambio de fase es una sustancia con un alto calor de fusión que puede cambiar de estado líquido a sólido a una cierta temperatura, absorben calor durante su transformación de fase de sólida a líquida y lo liberan durante la solidificación. Este tipo de materiales se produce comúnmente con parafinas o hidratos de sal y forman parte de muros, pisos, techos y concretos (Roth, 2010).

De acuerdo a una investigación realizada por la Universidad de *Oakland*, un muro construido con materiales de cambio de fase particularmente con parafina, reduce las fluctuaciones de temperatura en los diferentes climas de Nueva Zelanda y se comporta como un almacén de energía, previniendo excesivos incrementos o decrementos de la temperatura del aire. Gracias a su alta masa térmica, los materiales de cambio de fase reducen las fluctuaciones de temperatura y mantienen un clima agradable para los usuarios de la edificación a lo largo del año (Roth, 2010).

Estos materiales son recomendables en regiones de climas extremos debido a que capturan energía térmica en épocas de calor y lo liberan en invierno regulando el clima de la edificación a aproximadamente 24°C todo el año (Roth, 2010) . La incorporación de materiales de cambio de fase en una edificación de clima extremo reduce el número de días con temperaturas mayores a 26°C de un rango 50-80 a 5-20; al mismo tiempo se reducen considerablemente los kWh consumidos por aire acondicionado y calefacción (BASF, 2010). Es importante mencionar que los materiales cambio de fase se comercializan en Europa, principalmente en Alemania y BASF es una empresa líder.

Adicionalmente, BASF desarrolló una interesante innovación tecnológica en muros llamada “*Thermalcore*” compuesta por cubiertas de fibra de vidrio y parafina micro-encapsulada con un diámetro de 5-10 micras que se comprimen en conchas de acrílico, tiene la capacidad de almacenar 6.45 W/ft² que se almacena durante el día y después se libera en la noche. Actualmente, esta tecnología se encuentra en fase de implementación en el mercado y aún no es posible estimar su costo.

Figura IV.6 Esquema del material de cambio de fase “*ThermalCore*” desarrollado por BASF.



Fuente: (EcoCustomes Homes, 2010)

IV.4.1.2 Cristales

Los cristales son las partes transparentes de las fachadas, comparados con los muros reciben una mayor radiación solar y son los elementos de la envolvente que transfieren el mayor flujo de energía al interior (ganancia) o al exterior (pérdida) del edificio. Si no se eligen los cristales adecuados, la ganancia o pérdida total de energía es significativamente mayor, en consecuencia, el usuario adquiere equipos de aire acondicionado o calefacción para regular la temperatura interior y el gasto o ganancia de energía crece exponencialmente. Existen algunos cristales aislantes que reducen significativamente la

transferencia energética, a continuación se presenta una breve descripción de estas tecnologías.

Cristales teñidos. Este tipo de cristales se tiñen con tintas de colores neutros como gris, bronce y verde azulado que maximizan la absorción de radiación solar que se transforma en calor dentro de la superficie del vidrio. Estos cristales reducen la entrada de luz al interior del edificio pero permiten la transferencia de calor (LBNL, 2006)

Cristales reflejantes. Los cristales reflejantes reducen la transmisión de luz al interior del edificio, se componen de capas que se presentan en colores bronce, oro y plata. La transferencia energética depende de su espesor y de su localización dentro de la envolvente (LBNL, 2006).

Cristales laminados. Estos cristales se componen de una resistente capa plástica hecha de polivinilo de butilo (PVB) colocado entre dos capas de vidrio que trabajan a presión y calor. El cristal laminado retiene la energía a través de sus capas e impide que se transfiera de una manera importante al interior de la edificación (LBNL, 2006).

Películas de baja emisión de calor. Este tipo de cubiertas reducen la ganancia de calor en invierno y verano, permiten tener un nivel más alto de transmisión de luz visible por una reducción de cantidad de calor solar. De acuerdo con un estudio realizado por miembros de la Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés), este tipo de cubiertas no son eficientes en climas fríos donde los requerimientos de calor son más altos pues se diseñan para reflejar la radiación solar y reducir la ganancia de calor; solo algunas cubiertas han sido desarrolladas para maximizar la ganancia solar en invierno, por lo tanto, este tipo de cubiertas ofrecen beneficios energéticos sólo en temporadas de climas cálidos (ASHRAE, 2003).

La eficiencia energética de los cristales es un elemento importante para poder alcanzar la meta de un edificio cero consumo de energía. Los cristales que actualmente se encuentran en el mercado se relacionan con sistemas estáticos que tienen una función permanente a lo largo del año, reducir la transferencia térmica de la edificación. La tendencia tecnológica en cristales son sistemas dinámicos que funcionan de acuerdo a la temperatura exterior, optimizan la ganancia solar de acuerdo con las condiciones climáticas, aprovechan la energía ambiental pasiva de invierno y rechazan la ganancia solar térmica en verano.

De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de California en *Berkeley* y el Departamento de Energía de los Estados Unidos en el año 2006, los cristales son responsables del 30% del consumo total de un edificio ó 1,202,667 GWh en los Estados Unidos pues su ineficiencia energética no evita el uso de aire acondicionado y de calefacción. A continuación se presentan tres tecnologías que si son correctamente comercializadas e implementadas en edificios comerciales y residenciales podrían contribuir a un ahorro energético de 1,056,000 GWh es decir una reducción del 87% de su contribución al consumo de energía para el año 2030 (DOE, 2010).

Cristales altamente aislantes. Actualmente, existen tres tipos de cristales altamente aislantes: los cristales de aerogel que se componen de un material similar al gel con una alta resistencia térmica, los cristales huecos que eliminan la convección y conducción de calor entre dos capas de cristales y las películas de baja emisión con relleno de gas que se componen de tres o más capas de poliéster.

Cristales dinámicos. Son cristales que poseen sistemas de control solar a través de películas de baja emisión de calor, rellenos de gas criptón y capas de vidrio electrocrómico que se componen de cubiertas hechas con óxidos metálicos. Funcionan de acuerdo al

nivel de radiación solar, minimizan la demanda pico de aire acondicionado de verano y maximizan la ganancia solar pasiva en invierno.

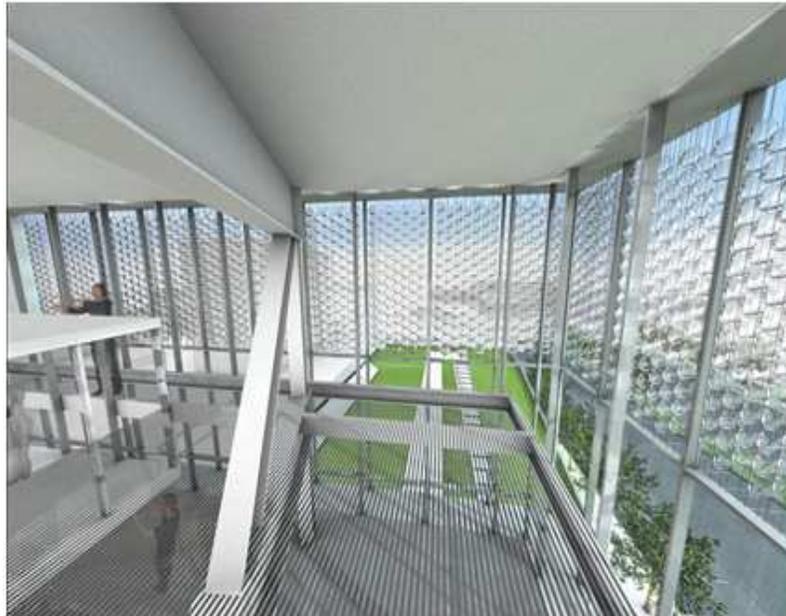
Figura IV.7 Cristal dinámico



Fuente: Laboratorio Nacional de *Lawrence Berkeley* y Departamento de Energía de los Estados Unidos (LNBL and DOE, 2006)

Fachadas integrales de iluminación natural. Las fachadas integrales de iluminación natural proporcionan beneficios combinados de control y redirección de la luz de día mientras se preserva la visibilidad de los usuarios. Ejemplos de tecnologías existentes para estas fachadas incluyen lámparas solares, estantes y domos de luz que permiten la penetración de luz que repercute en un ahorro de energía por iluminación y dispositivos de sombra los cuales actúan de acuerdo a los niveles de luz solar.

Figura IV.8 Fachada integral de iluminación natural



Fuente: (Center for Architecture Science and Ecology, 2008)

A continuación se presentan las metas de eficiencia energética mediante la implementación de las tecnologías antes descritas para el año 2030 en los Estados Unidos con respecto a la situación del año 2003.

Tabla IV.6 Metas de eficiencia energética en cristales para el año 2030 con respecto a la situación del año 2003 en los Estados Unidos.

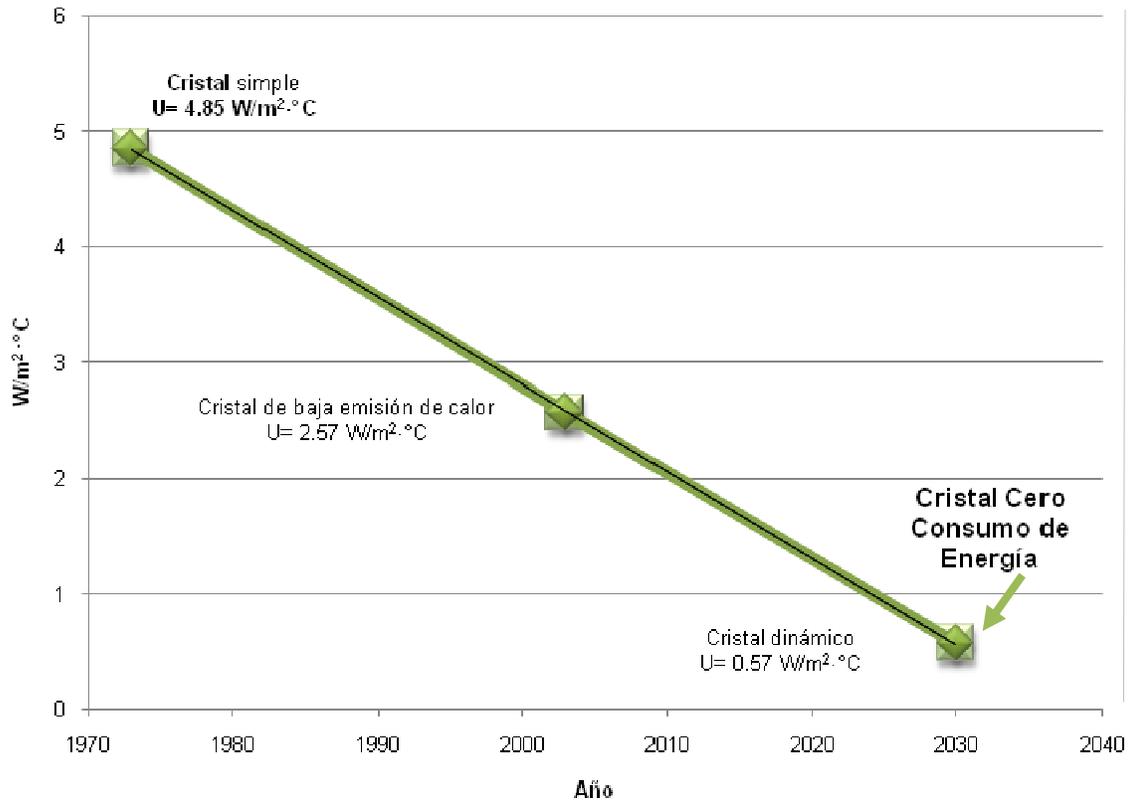
Tipo de ventana	2003			2030		
	U (W/m ² ·°C)	Ahorro de energía	Costo (dólares/pie ²)	U (W/m ² ·°C)	Ahorro de energía	Costo (dólares/pie ²)
1.Cristales altamente aislantes	1.6	nd	3	0.57	nd	3
2.Cristales dinámicos	1.02	nd	85	0.57	nd	5
3.Fachadas integrales de iluminación natural	nd	40	3	nd	60	6

Fuente: Laboratorio Nacional de *Lawrence Berkeley* y Departamento de Energía de los Estados Unidos (LNBL and DOE, 2006)

En conclusión, las tendencias tecnológicas de los cristales podrían alcanzar una eficiencia tal que podrían ser consideradas como “cristales cero consumo de energía”. La figura siguiente muestra el abatimiento del valor U en cristales en el periodo 1973 a 2003 y una

proyección de eficiencia al año 2030 donde se espera que las tecnologías más avanzadas sean incorporadas en las edificaciones de los Estados Unidos.

Figura IV.9 Eficiencia energética de las tecnologías de cristales comercializados en los Estados Unidos en el periodo 1973 - 2030.



Fuente: CMM con datos de Laboratorio Nacional de *Lawrence Berkeley* y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (LNBL and DOE, 2006)

Es importante mencionar que el sombreado que se proporciona a una ventana también constituye un factor determinante para reducir la ganancia de energía. Existen elementos de diseño conocidos como aleros, partesoles, parasoles que reducen significativamente esta transferencia.

IV.4.1.3 Azoteas verdes

Un techo o azotea verde es una cubierta ajardinada parcial o totalmente cubierta por vegetación. Es una tecnología emergente que puede reducir el consumo de energía en edificaciones a través de la disminución de la temperatura que repercute en la minimización del uso de sistemas de aire acondicionado. Las azoteas verdes tienen un alto potencial para mejorar el desempeño térmico del techo a través del sombreado, el aislamiento térmico y la evapotranspiración además de disminuir las islas de calor en las edificaciones y mejorar la imagen del paisaje urbano. La temperatura de la superficie de

una azotea verde puede ser más baja que la temperatura del aire exterior mientras que las azoteas tradicionales exceden esta temperatura y pueden alcanzar niveles superiores a 50°C dependiendo de las condiciones climáticas (NRC C, 2003).

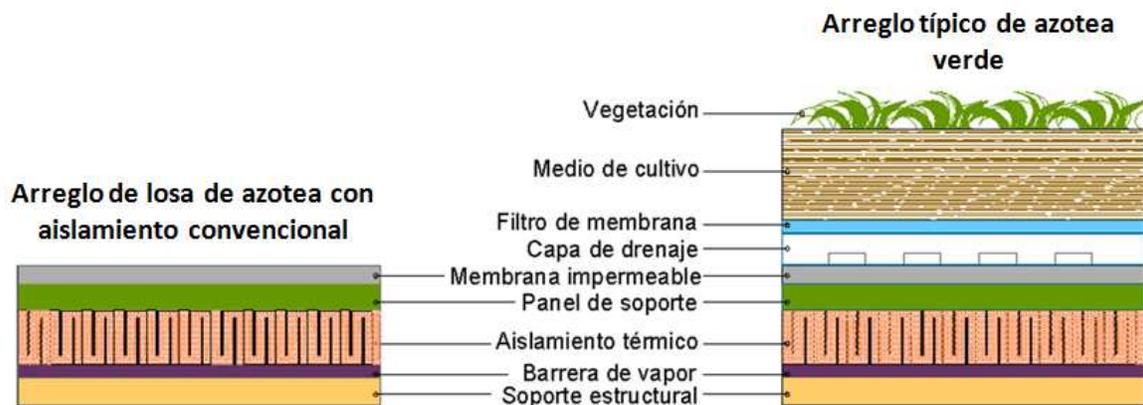
Algunas empresas dedicadas a la construcción de azoteas verdes en los Estados Unidos han estimado que el coeficiente global de transferencia de energía "U" de las superficies de una azotea verde es de 0.585 W/m²·°C mientras que superficies sin cubierta vegetal tienen un valor de 0.931 W/m²·°C (*Technical Landscapes*, 2010).

Las azoteas verdes se clasifican en dos tipos: extensivas e intensivas. Las extensivas generalmente incluyen vegetación alpina o montañosa, no requieren de una constante irrigación y su mantenimiento es mínimo. Por otro lado, las azoteas verdes intensivas carecen de un límite en la variedad de especies que se pueden plantar, incluyen árboles altos o arbustos; comparadas con las azoteas intensivas su peso es mayor, por lo que se eleva el costo de los soportes estructurales; además, requieren de sistemas especiales para su irrigación y mantenimiento (*Ontario Association of Architects*, 2004).

Los costos de las azoteas verdes varían según el tipo de azotea y sus componentes. De acuerdo al Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRCC), el costo inicial de una azotea extensiva es de 10 dólares/pie² y el de una azotea intensiva es de 25 dólares/pie² aproximadamente. Estos costos varían de acuerdo al país y al nivel de implementación que éste tenga, por ejemplo en Alemania los precios de una azotea verde varían de 8 a 15 dólares/pie² pues en este país el uso de azoteas verdes es común (*Climate Protection Partnership Division in the U.S.*, 2003).

El NRCC de Canadá realizó un estudio para estimar los beneficios energéticos de las azoteas verdes de tipo extensivas (espesor de 15 cm) comparadas con las azoteas de aislamiento térmico convencional, la figura siguiente muestra las características de estas dos azoteas las cuales se localizaron en la ciudad de *Ottawa*, Canadá.

Figura IV.10 Arreglo de una losa de azotea con aislamiento convencional y arreglo típico de una azotea verde.



Fuente: CMM con datos del Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRCC, 2003)

Los resultados principales de este estudio fueron que la losa de azotea con aislamiento convencional alcanzó temperaturas máximas superiores a 70°C en verano, bajo estas condiciones las azoteas verdes alcanzaron temperaturas máximas de 30°C. Se observó

que las azoteas verdes regulan las fluctuaciones de los picos de temperatura especialmente en climas cálidos. Por otro lado, la demanda de aire acondicionado en el edificio con una azotea convencional fue de 7.5 KWh/día y de una azotea verde fue de 1.5 KWh/día, por lo tanto, la reducción del consumo de energía fue de 80%.

La investigación anterior demuestra que la implementación de una azotea verde regula la temperatura interior y exterior de la edificación de una manera natural y amigable con el medio ambiente.

En conclusión, la eficiencia energética de los elementos de la envolvente mediante la incorporación de materiales de aislamiento térmico, cristales aislantes y azoteas verdes combinados con criterios de diseño bioclimático es una oportunidad para que se minimice notablemente los consumos energéticos por sistemas de aire acondicionado y calefacción en edificios comerciales y residenciales en México. De acuerdo con la literatura internacional, si estos tres elementos se combinan adecuadamente, un edificio puede convertirse en un edificio cero consumo de energía, lo que contribuiría en el cumplimiento de los objetivos de mitigación de emisiones de México en el sector de la edificación.

IV.5 El estado del arte en la arquitectura bioclimática

La arquitectura cumple un papel fundamental para lograr edificios eficientes energéticamente. Se entiende como arquitectura bioclimática a la optimización de relaciones energéticas con el medio ambiente mediante su propio diseño arquitectónico. Representa el empleo de materiales y sustancias con criterios de sustentabilidad, contempla el concepto de gestión de energía óptima de los edificios de alta tecnología mediante la captación, acumulación y distribución de energías renovables activas o pasivas junto con la integración paisajista y el empleo de materiales autóctonos y sanos (Puvanant, 1999).

El bioclima ofrece un conjunto de datos condicionantes o determinantes, que se deben de considerar en el diseño arquitectónico. Esta concepción considera fundamentos básicos de la arquitectura a tres grandes aspectos: el lugar, la historia y la cultura.

El diseño bioclimático ha existido siempre, en todas las épocas de la historia puede encontrarse una relación esencial, consciente o inconsciente entre el hombre sus casas y el sol. El hombre de Neandertal fue quien inició la construcción formal de los refugios, cuyas viviendas fueron cuevas naturales acondicionadas para poder vivir y resguardarse de la intemperie. La arquitectura vernácula (construcciones realizadas por personas de manera empírica) a través del tiempo ha desarrollado edificaciones amigables con el medio ambiente. Esta se construye con materiales naturales de la localidad y se caracteriza por tecnologías que nacen como resultado de la comprensión del medio ambiente (Amerlink, 2008).

En México, la aplicación de la arquitectura vernácula implica el hecho de utilizar materiales locales y emplear mano de obra local, recupera la tradición de los lugareños y preserva una manifestación cultural valiosa, que hoy en día se encuentra casi en extinción.

Es importante recuperar esta manifestación cultural mexicana no solo con fines históricos o de estudio, sino para otorgarle una utilidad práctica, productiva y concordante con el ambiente que la rodea. La arquitectura mexicana de hoy en día se ha olvidado de la relación del hombre con la naturaleza, como resultado se ha creado una enorme confusión arquitectónica en cuanto al uso de materiales, sistemas constructivos, etc.; se han

destruido los hábitos de vecindad y comunicación espontánea entre los hombres, con lo que también se ha afectado significativamente el orden social.

A mediados de los setentas, la crisis del petróleo causó estragos en el mundo desarrollado, por lo que arquitectos, ingenieros y físicos sumaron esfuerzos para dar una propuesta diferente al modo de diseñar y construir arquitectura. En respuesta, los hermanos Aladai y Victor Olgyay (pioneros en esta materia) proponen el término “Arquitectura Bioclimática”.

IV.5.1 Diseño Bioclimático.

El término “Bioclimático” intenta recoger el interés por la respuesta del hombre, el “bios” como usuario del edificio y del ambiente exterior, el “clima” como afectante de la forma arquitectónica.

La arquitectura bioclimática consiste en el diseño de edificaciones tomando en cuenta las condiciones climáticas, con el aprovechamiento de los recursos disponibles como el sol, vegetación, lluvia y vientos para disminuir los impactos ambientales, intentando reducir los consumos de energía.

Existen dos principios básicos para el diseño de edificaciones energéticamente conscientes. El primero se conforma por los elementos de Diseño Pasivo, los cuales tienen como objetivo proveer condiciones de vida adecuadas para el confort humano, mediante sistemas naturales que permiten proporcionar iluminación y ventilación, o considerando la orientación del edificio para tomar ventaja del movimiento del sol y de las condiciones climáticas del lugar. Al segundo principio lo conforman los elementos del Diseño Activo, que se basan en el uso de componentes mecánicos y dispositivos electrónicos para crear condiciones deseables en la edificación (Puvanant, 1999)

El diseño bioclimático implica la optimización de la energía ambiental conforme a la ubicación de la edificación.

Actualmente, en las áreas urbanas el tipo de edificación convencional dispone de aire acondicionado por completo (elementos mecánicos) y como consecuencia los consumos energéticos son elevados, por lo tanto, tienen que dirigirse los esfuerzos a aprovechar los beneficios del diseño pasivo; con lo que se ahorra energía, al mismo tiempo que se conserva el medio ambiente.

Un rascacielos bioclimático se diseña usando tecnologías de bajo consumo energético, relacionándolo con el clima del sitio de su ubicación, tomando en cuenta los datos meteorológicos prevaletantes; dando como resultado un edificio interactivo con su medio ambiente, con ahorro de energía en su operación y elevada calidad en su desempeño.

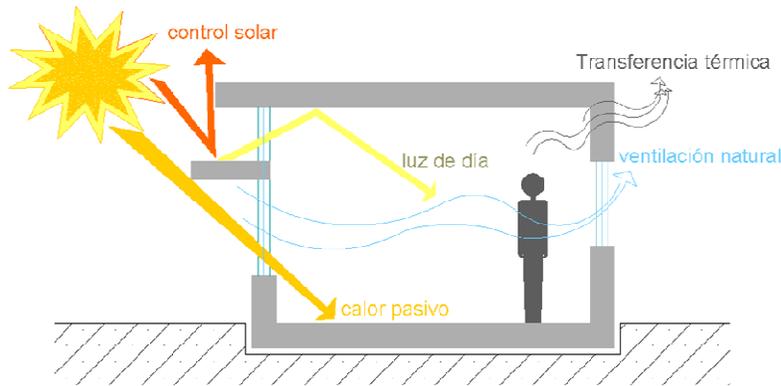
La expresión arquitectónica debe ser precedida por el estudio de las variables en materia de clima, biología y tecnología. Las necesidades para una edificación balanceada deben analizarse por métodos objetivos que respeten aspectos como la selección del sitio, orientación, cálculo de sombras, forma y figura del edificio, movimiento del aire y condiciones de temperatura interior.

Dado que el clima es diferente en cada región, los arquitectos, diseñadores, desarrolladores, etc., deben estar conscientes de estas variaciones; lo que dará lugar a una expresión arquitectónica con características únicas para cada sitio y ubicación en específico.

IV.5.2 Metodologías

Actualmente, se dispone de diferentes metodologías para aplicar los principios del diseño bioclimático que implica el desarrollo de proyectos respondiendo a las condiciones climáticas del sitio para generar flujos de energía natural (Olgay, 2006). Existen varias perspectivas relacionadas con la relación del hombre con el medio y la arquitectura; Olgay, por ejemplo, se fundamenta en la dependencia del medio con la vida y Gabriel Gómez Azpeitia se basa en un proceso de diseño en espiral ajustándose a la forma de pensar del diseñador. A continuación se presenta un ejemplo de diseño bioclimático aplicado a un espacio.

Figura IV.11 Diseño bioclimático aplicado en un espacio



Fuente: CMM con datos de *Rocky Mountain Institute* (Olgay, 2006)

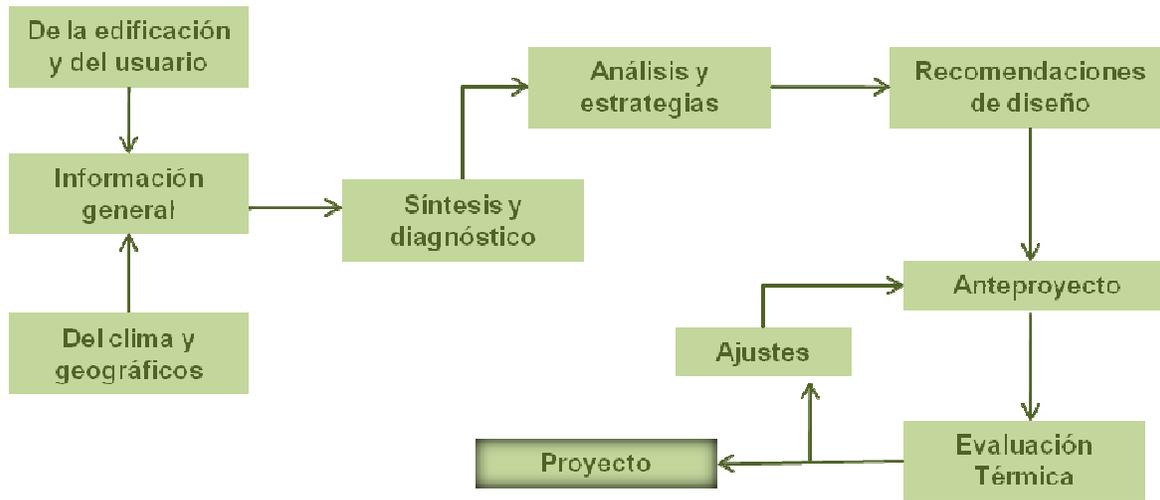
Se sabe que existen diferentes criterios que deben ser tomados en cuenta para llegar a un proceso de integración del diseño, la tabla siguiente presenta los criterios más importantes para determinar la comodidad térmica de una edificación.

Tabla IV.7 Aspectos bioclimáticos que determinan la comodidad térmica al interior de un espacio

CRITERIOS		
1er Grupo	Condiciones ambientales	Temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del aire, radiación solar.
2do Grupo	Ocupantes	Vestido con el que cubren los ocupantes y variables de metabolismo: edad, peso, complexión, actividades, etc.
3er Grupo	Diseño	Materiales, orientación, forma, envolvente, etc.

Fuente: (Morillón, 2003)

Figura IV.12 Esquema de Metodología que se sugiere seguir durante el diseño bioclimático de los edificios



Fuente: (Morillón, 2003)

Otros criterios metodológicos para el correcto logro de una arquitectura bioclimática para lograr una adecuación ambiental son propuestos por Olgay que establece secuencias para la interrelación de cuatro variables: clima, confort térmico, tecnología y arquitectura.

Tabla IV.8 Interrelación de variables para lograr la adecuación ambiental

CLIMA	CONFORT TÉRMICO	TECNOLOGÍA	ARQUITECTURA
Análisis de los elementos climáticos del lugar seleccionado	Realizar una evaluación de las incidencias del clima en términos fisiológicos.	Análisis de las soluciones tecnológicas adecuadas para cada problema de confort climático.	Combinación de las soluciones.
Se analizan según las características del lugar: <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Viento • Efectos modificados de las condiciones del microclima 	Basada en las sensaciones humanas llevadas a una gráfica bioclimática, se obtiene un diagnóstico de la región.	Elección del lugar	La aplicación de las tres primeras fases debe desarrollarse y equilibrarse de acuerdo con la importancia de los diferentes elementos
		Orientación	
		Cálculo de sombras	
		Formas de la vivienda y edificios	
		Movimientos del aire	
		Equilibrio de la temperatura interior	
Características de los materiales			

Fuente: (Olgay, 2006)

Las estrategias bioclimáticas son las decisiones de diseño que van a dar respuesta a las características propias de un clima determinado. Para que se cumpla el objetivo de mejorar el bienestar de los espacios interiores con el menor costo energético, se aplican estas técnicas, que trabajan frente a dos variables: el invierno y el verano (Cortes, 2009)

Durante el invierno es necesario minimizar las pérdidas térmicas a través de los cerramientos y captar energía, y durante el verano, evitar y eliminar el sobrecalentamiento. Para construir una edificación con principios bioclimáticos característicos del Diseño Pasivo, se deben respetar aspectos tales como:

- ✓ Orientación
- ✓ Iluminación natural
- ✓ Diseño por viento (Ventilación natural, ventilación cruzada, etc.)
- ✓ Diseño solar pasivo (sin celdas fotovoltaicas)

Debe existir una concordancia entre la forma, orientación y distribución de espacios; la forma de un edificio interviene directamente en el aprovechamiento climático del entorno a través de dos elementos básicos: la superficie y el volumen. Con respecto a la superficie, por el intercambio de calor entre el exterior y el interior del edificio; a mayor superficie, se tiene más capacidad de intercambio de calor. El volumen de la edificación está directamente relacionado con la capacidad para almacenar energía, a mayor volumen, se tiene más capacidad para almacenar calor. Otro aspecto que interviene en el mecanismo de intercambio energético entre la edificación y el exterior es el color, material y acabado exterior de la fachada. Pintando con colores claros las fachadas y techos por la parte exterior, esto facilita la reflexión de la luz natural y por lo tanto ayudan a repeler el calor de la insolación. Contrariamente los colores oscuros facilitan la captación solar.

Parte importante para reducir el impacto ambiental es mediante la selección de materiales:

- Locales
- Renovables
- Reciclados
- De baja toxicidad
- De baja energía incorporada

IV.5.3 Zonificación Climática

El manejo adecuado del clima constituye un factor determinante para hacer sustentable a la edificación; su eficiencia energética dependerá de la altitud y latitud en donde se localice. Por estas razones, los países que mayor consumo energético demandan se localizan en latitudes extremas; las poblaciones más próximas a los polos requieren de equipos de calefacción, así como, en las ciudades próximas al ecuador, la situación es inversa, demandan de aire acondicionado para regular su temperatura. La altitud es otro de los factores que determinan el confort térmico, a mayor altura, menor temperatura e igual, a la inversa, en zonas urbanas más bajas la temperatura es mayor. Un tercer factor que determina la temperatura es la situación respecto al sol, considerando a las temporadas de invierno y de verano como las más extremas y por ende, las que mayores consumos energéticos demandan.

Por estas razones, el manejo adecuado del clima será determinante para disminuir el consumo energético en la urbe, así como, en las edificaciones; ello ha motivado que un gran número de las metodologías disponibles en el mundo hagan referencia a una organización geográfica o regionalización de los estándares utilizados para hacer eficiente una edificación, particularmente a los relacionados con la envolvente y con el diseño propio del edificio, utilizando elementos del diseño arquitectónico como los que se refieren en los aparados anteriores.

Existen diversos ejemplos de manejo del clima en los códigos y normas de edificación sustentable en el mundo aplicados mediante el uso de una regionalización: En EUA, el Código Internacional de Edificación Verde (IGCC), el Código de Edificación Verde de California (*CalGreen*), por citar solamente dos ejemplos.

Para el caso de México, se han hecho varias zonificaciones climáticas a nivel nacional, dentro de las cuales es importante mencionar las siguientes:

- División presentada en la guía de Diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales (*CONAVI, 2006*), presenta siete regiones ecológicas en el país
- “Atlas Bioclimático de la Republica Mexicana”, elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en el cual se especifica por mes mediante 12 planos, el bioclima de la República Mexicana (*Morillón, 2002*).

IV.5.4 Modelos de comportamiento térmico

El comportamiento térmico real de cualquier edificación concreta es sumamente complejo y muy variable en función, tanto de las aportaciones energéticas internas, como de las condiciones micro-climáticas externas; por lo mismo se han propuesto modelos que al simular una simplificación de la realidad, vuelven abordable y manejable el problema.

El primero y único que se utiliza en la normativa existente (en México) es el “Modelo del régimen estacionario”, el cual consiste en suponer una diferencia de temperaturas constantes entre el aire interior y el exterior. Esto provoca un flujo térmico constante que atravesaría el “involucro murario” (muro de envolvente, elemento divisorio entre exterior e interior de un espacio determinado), siempre en el mismo sentido. Los conceptos analíticos que se involucran para evaluar la capacidad aislante de un involucro se valoran con este modelo. El factor de aislamiento puede cobrar entonces una gran importancia económica de cara a la factura energética (*Morillón, 2003*).

IV.5.4.1 Orientación

Independientemente del tipo de edificación y su ubicación en general todas y cada una de ellas se encuentran y son susceptibles a las inclemencias del tiempo como la incidencia de los rayos del sol y los vientos. Estos fenómenos naturales, ya sea en verano o invierno, repercuten aumentando o disminuyendo tanto la temperatura y ventilación como la iluminación interior de la edificación.

La orientación resulta ser por tanto, uno de los parámetros de diseño más importantes en cuanto al ahorro energético se refiere. Éste parámetro trata de ubicar la edificación en la posición más adecuada en un sitio determinado según las incidencias de sol y de viento. Dentro de la orientación es necesario considerar también otros parámetros de diseño como la distribución adecuada de los espacios y habitaciones, el buen uso de los materiales disponibles, la orientación, el tamaño y ubicación de ventanas así como aislamientos adecuados y ventilación natural. Así pues, dependiendo de la época del año se puede observar que las fachadas con orientación sur reciben el máximo de radiación solar en invierno y la mínima en verano. De acuerdo con lo anterior se debe diseñar evitando sombras para los meses fríos de invierno, así como procurarlas en los meses cálidos de verano.

Las propuestas de diseño bioclimático a partir de los ejes solar y eólico, orientación y ubicación de espacios, ubicación de aperturas y vanos de ventilación, materiales y

sistemas constructivos; intervienen en cada una de las principales orientaciones: Norte (N), Noreste (NE), Este (E), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SO), Oeste (O) y Noroeste (NO). (Buerba, 2009).

Tabla IV.9 Orientaciones por espacio interior

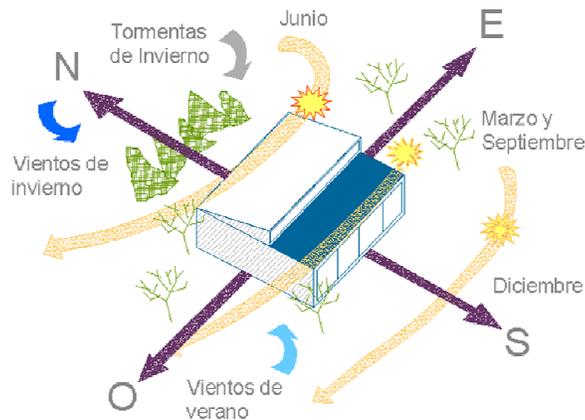
ORIENTACIONES POR ESPACIO INTERIOR								
ORIENTACIÓN	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Áreas de estar	N	R	B	B	O	R	R	R
Áreas de descanso	N	R	O	B	R	N	N	N
Áreas de servicio	O	N	N	N	N	R	B	B
Áreas de trabajo	N	B	B	O	B	N	N	N
Áreas de paso	B	B	N	N	N	O	O	O
Áreas semi-abiertas	N	R	R	O	O	B	B	B

O	Optima
B	Buena
R	Recomendable
N	No Recomendable

Fuente: (Buerba, 2009)

La orientación en una edificación nueva es la mayor área de oportunidad para ahorrar energía y sus respectivos costos asociados, sin embargo estos ahorros siempre estarán supeditados a la ubicación geográfica tanto del terreno como del diseño de la misma. El hecho de que no existan árboles, edificios u otros obstáculos que impidan recibir la energía solar del sur en determinados horarios durante el invierno de las 9:00 am a las 3:00 pm (en el caso de México) o que por el contrario existan enredaderas y otros elementos como aleros, viseras (entre otros) colocados al exterior de la fachada, pueden ser usados para proporcionar sombra durante el verano son aspectos que se deben tomar en cuenta para intentar sacar el máximo provecho de la edificación. Adicionalmente los lados largos de la estructura orientados de este a oeste así como los lados cortos de norte a sur y las ventanas grandes orientadas hacia el sur son elementos de diseño muy importantes.

Figura IV.13 Esquema de orientación adecuada de la estructura



Fuente: CMM con datos del Centro de Energía de la Universidad de Texas (UTEP, 2006)

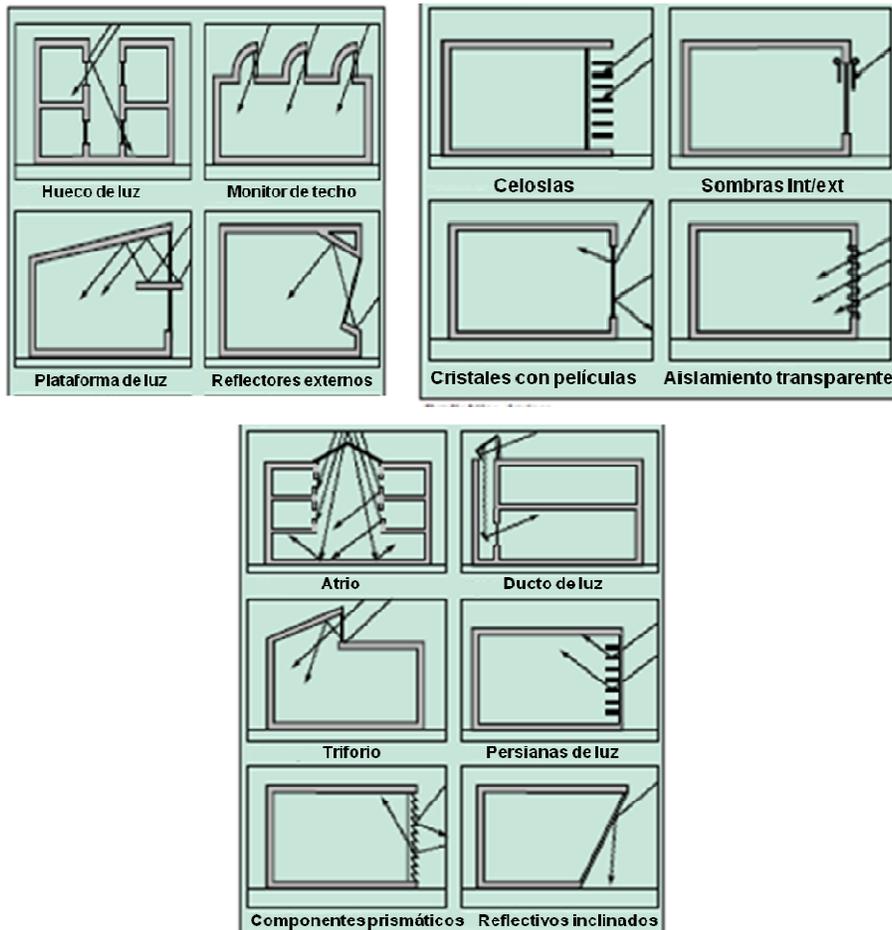
IV.5.4.2 Iluminación natural

La iluminación natural es por definición aquella que es proporcionada por fuentes naturales como el sol, las estrellas e incluso la luna y que por tanto, no se requiere tecnología alguna creada por el hombre para generarla. Dicha iluminación natural puede ser aumentada o disminuida por diversos elementos de nuestro entorno como pueden ser el cielo, los arboles, las fachadas, etc.

El empleo eficiente de luz natural especialmente en edificios de uso diurno, es un aporte importante para maximizar el ahorro energético, además de brindar mayor estética y confort visual con lo que es posible reemplazar parcial o totalmente la iluminación artificial. Por supuesto, un buen sistema de iluminación natural debe ser incorporado a la edificación desde la fase de diseño de la misma, lo cual puede lograrse sí se toma en cuenta la relación de incidencia de luz natural en los edificios (Lewis, 1997), componente completamente ligada a la orientación. Para la correcta iluminación se deben analizar entre otras cosas:

- El uso que se le va a dar a cada espacio, ya que cada estancia tiene diferentes necesidades de tipo de luz, intensidad y tiempo
- La orientación, organización de espacios interiores, función y geometrías del espacio a iluminar
- La ubicación, forma y dimensiones de las aperturas por las que la luz natural pasará
- La ubicación y propiedades de las particiones interiores, que reflejarán la luz interior y jugarán una parte importante en la distribución
- La ubicación, forma y dimensiones de los dispositivos móviles o permanentes, que proporcionarán protección para el exceso de luz y deslumbramiento
- Características ópticas y térmicas de los materiales para acristalamiento

Figura IV.14 Dispositivos de luz natural



Fuente: CMM con datos de la Comisión Europea (Lewis, 1997)

Una buena iluminación natural no solo reducirá costos energéticos relacionados con la iluminación artificial, sino que también disminuirá el uso de dispositivos mecánicos para enfriamiento de cuartos sobrecalentados, mediante dispositivos eléctricos de alumbrado eficientes. Las aperturas de ventanas y fuentes de iluminación artificial deben ser puestas de tal manera que el deslumbramiento sea minimizado (Lewis, 1997).

IV.5.4.3 Diseño por viento

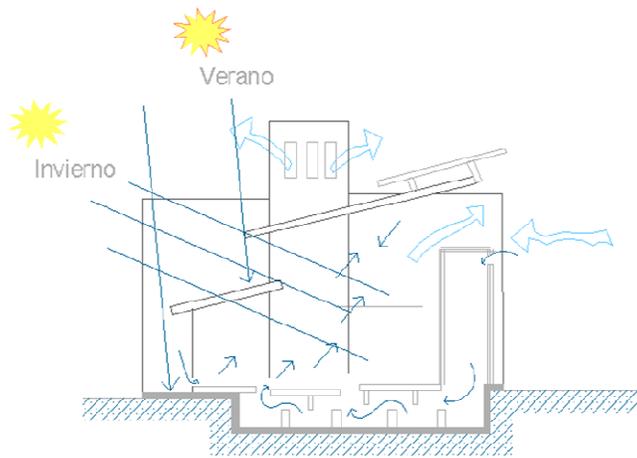
El diseño por viento se basa en la correcta orientación de los vanos, la unión precisa y uso de los cerramientos, lo cual se logra mediante el control de la apertura, cierre de las ventanas y compuertas de acuerdo a los intereses de ventilación de cada momento, con el objeto de beneficiarse de las ventilaciones cruzadas en el interior del edificio.

Cuando se diseña un sistema de ventilación cruzada, las rejillas de entrada y salida de aire no deberán ser colocadas una enfrente de la otra. Se enfriará un área más grande si el aire que circula tiene que cambiar de dirección en el cuarto. La ventilación natural es más efectiva si se tiene cuidado de donde ubicar la rejilla de entrada de aire en un área

sombreada, y se evita colocar enfrente de la losa de concreto o del área con mayor insolación.

Si se aplican de acuerdo a un correcto estudio previo de diseño, muchos de estos elementos no tendrían por qué aumentar los costos en el total de lo previsto en el desarrollo de la obra (Cortes, 2009).

Figura IV.15 Esquema de ventilaciones cruzadas



Fuente: CMM con datos del Centro de Energía de la Universidad de Texas (UTEP, 2006)

Un elemento muy común en la época colonial mexicana son los patios interiores, los cuales son una excelente oportunidad para aprovechar la ventilación cruzada. Lamentablemente hoy en día debido a las tendencias arquitectónicas de globalización han resultado en la pérdida este tipo de elementos de diseño en nuestro país. De acuerdo con Werner, los principales beneficios por los que se aplican los patios al interior de un espacio, son: la generación de un microclima más confortable con lo que se aprovechan de una manera más eficiente las condiciones climáticas naturales como, la luz natural, la vegetación y los vientos; convirtiendo así el patio en un elemento esencial para la regulación de temperatura y consumos energéticos en los diferentes espacios (Werner, 1997a).

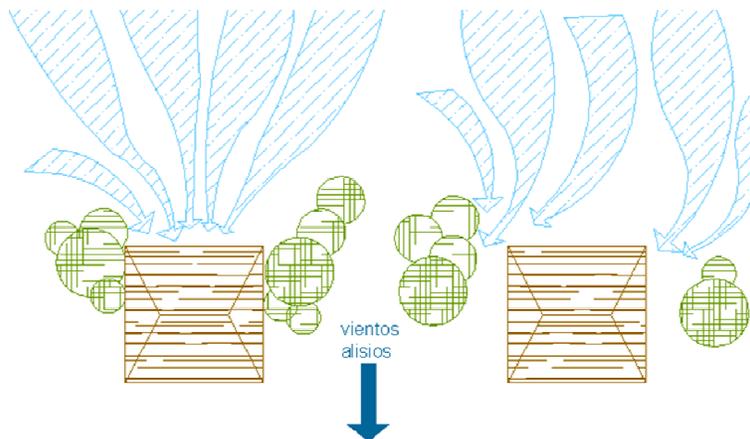
Figura IV.16 Patio de las ollas



Fuente: (Barragán, 1999)

La casa estudio del Arquitecto Luis Barragán, es una obra maestra de la arquitectura moderna en México. Su estilo característico basado en motivos autóctonos y coloridos fue base para la creación de una arquitectura eficiente generada de manera espontánea. Esto se ve reflejado en sus patios en los cuales además de incluir el uso de materiales locales, ventilaciones cruzadas, espacios rodeados por agua y vegetación, dan como resultado un ambiente agradable y de confort, sin tener que involucrar ningún tipo de elemento mecánico (Barragán, 1999). Como complemento es recomendable un estudio de paisaje para el diseño bioclimático de una edificación (Ferrer, 2003).

Figura IV.17 Paisaje para ventilación natural

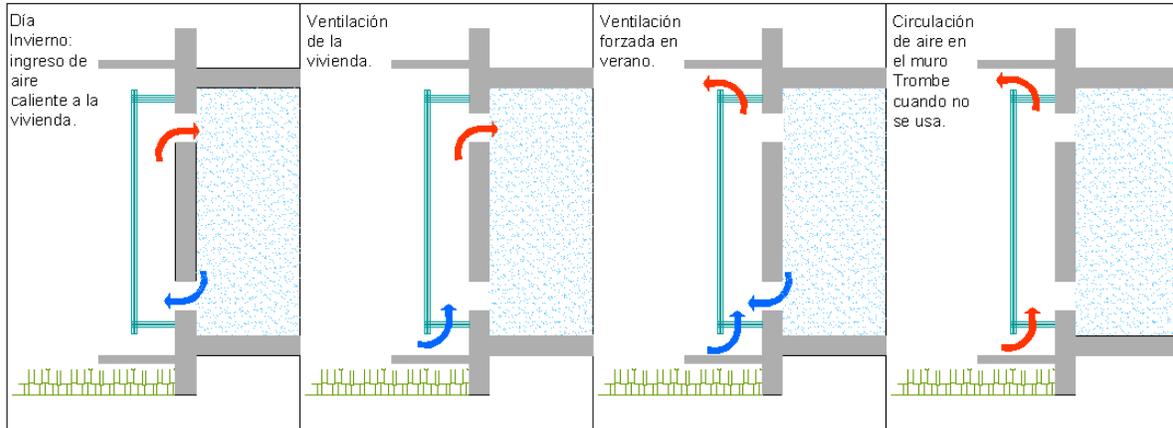


Nota: Se puede jugar con el paisaje para generar barreras de viento naturales con vegetación del lugar, para desviar los vientos en el exterior del volumen.

Fuente: CMM con datos de *Rocky Mountain Institute* (Olgay, 2006)

Otro elemento de diseño importante es el muro Trombe, su funcionamiento se basa en la diferencia de densidad del aire caliente y del aire frío, que provoca corrientes en una u otra dirección, dependiendo de las compuertas que estén abiertas. Estas corrientes de aire caliente o templado, calientan o refrescan, introduciendo o extrayendo el aire caliente del edificio o las habitaciones donde se instalen.

Figura IV.18 Circulación de aire en muro Trombe



Fuente: CMM con datos de la Comisión Europea (Lewis, 1997)

IV.5.4.4 Diseño solar pasivo

El diseño solar pasivo consiste en maximizar las ganancias de calor y minimizar las pérdidas de energía del edificio en invierno y minimizar las ganancias y maximizar las pérdidas del edificio en verano, lo que depende del clima local y de la necesidad predominante de enfriar o calentar.

Una amplia gama de estándares y técnicas pasivas están disponibles para el diseñador del edificio, a un pequeño costo o incluso hasta sin costo extra, comparado con el costo de las construcciones convencionales. El calentamiento que produce la energía del sol es una gran contribución a las necesidades de un edificio. En la mayoría de las partes de Europa se usan las siguientes técnicas; aunque para comprender y analizar los diferentes esquemas es necesario primeramente considerar las definiciones que se proporcionan a continuación: (Lewis, 1997)

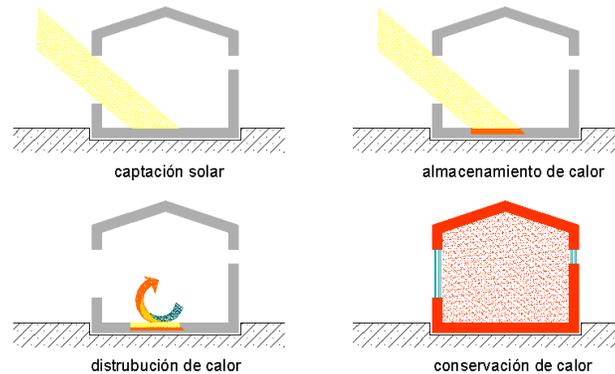
Captación solar.- cuando la energía solar es colectada y convertida en calor.

Almacenamiento de calor.- cuando el calor es almacenado durante el día dentro del edificio para usarlo después.

Distribución de calor.- cuando el calor colectado y almacenado es redirigido a cuartos o zonas que requieran este calor.

Conservación del calor.- cuando el calor es retenido y almacenado dentro del edificio por el mayor tiempo posible.

Figura IV.19 Sistemas de control solar pasivos



Fuente: CMM con datos de la Comisión Europea (Lewis, 1997)

Ganancias Directas

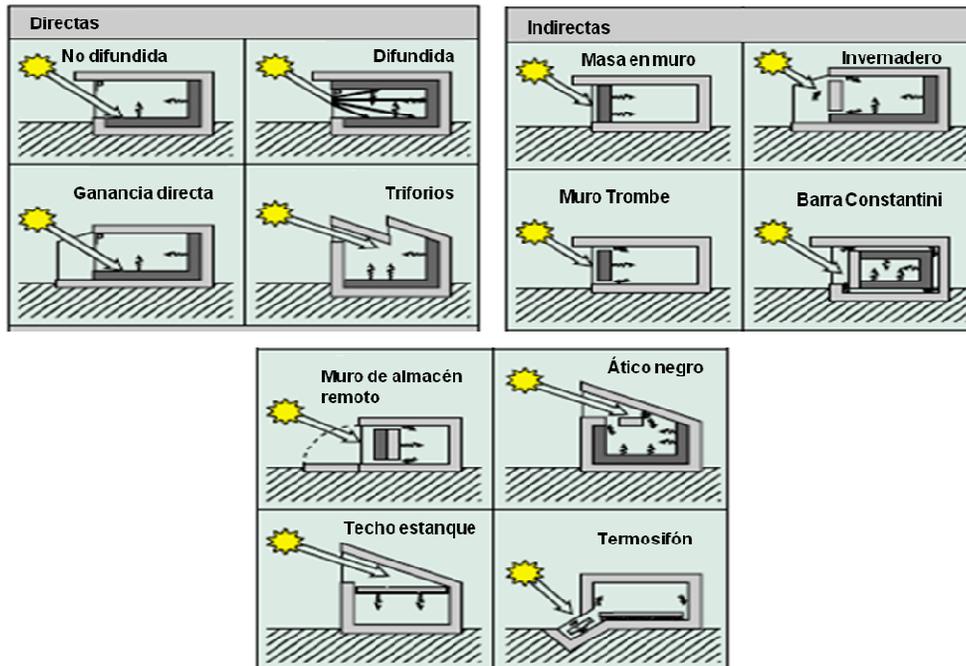
Se obtiene colocando la fachada más larga al sur con acristalamientos de tamaño adecuado y frente a los cuartos habitables y de mayor uso.

Ganancias Indirectas

Se obtienen mediante el uso de elementos complementarios en el diseño arquitectónico que incluyen masas térmicas, muros Trombe y muros de agua. El principal elemento de almacenamiento térmico se recomienda localizarlo en el muro de la fachada sur, que recibe la mayor masa térmica, cuya capa externa es acristalada para reducir pérdidas de calor. El aislamiento móvil se podrá utilizar por la noche. En los muros de agua, el agua reemplaza al sólido muro de mampostería. Un desarrollo es el sistema *Barra-Constantini* que utiliza cristal ligero con colectores colocados sobre éste, aislando la orientación sur. El aire calentado en los colectores circula por ductos a través de los techos, muros y pisos, calentándolos. El *Sunspace* o *Invernadero*, es un recinto acristalado adosado a la fachada sur y puede ser utilizado para precalentar el aire de ventilación para el edificio (Lewis, 1997).

Además de los materiales especiales para el acristalamiento (usando capas especiales o que operen electro-crómicamente o foto-crómicamente), que pueden rechazar o ayudar a retener el calor, dependiendo de las circunstancias, existe en el mercado una nueva gama de materiales para la construcción, que a menudo son ideales para el diseño solar pasivo. Algunos materiales transparentes aislantes están disponibles, mientras que otros están todavía en la fase de desarrollo; se prevé que la producción a gran escala abaratará sus costos de manera significativa (Lewis, 1997).

Figura IV.20 Sistemas de diseño solar pasivos



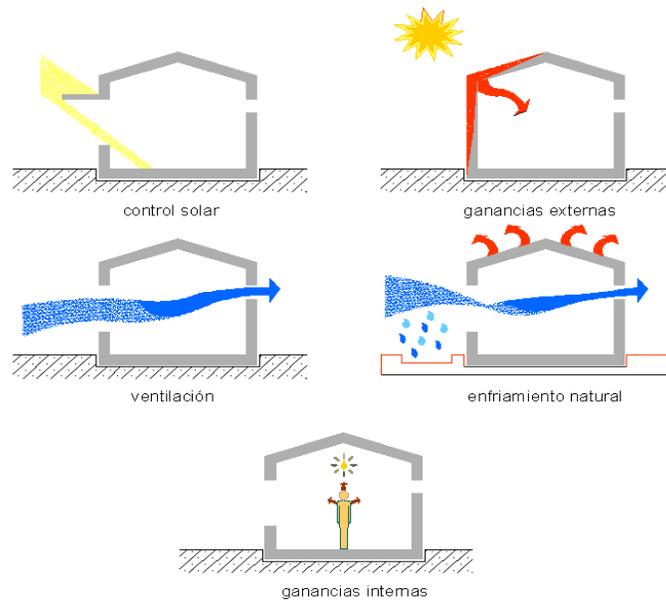
Fuente: CMM con datos de la Comisión Europea (Lewis, 1997)

Enfriamiento Natural

El enfriamiento natural o pasivo aplica al proceso de disipación de calor que se producirá de manera natural, es decir sin componentes mecánicos o insumos externos de energía. Algunas estrategias útiles son: controlar la cantidad de calor ganada por medio de la radiación solar; reducir la ganancia interna por medio del usuario; tomar en cuenta varias capas en la piel o envolvente del edificio para absorber cualquier resto de calor no deseado; dispositivos de sombra, sombreado de vegetación, entre otras.

Las ganancias externas de calor pueden ser minimizadas por medio de: reducir tamaño de ventanas en fachadas estratégicas, inercia térmica en la envolvente, materiales reflectantes y diseño de edificio compacto (Lewis, 1997).

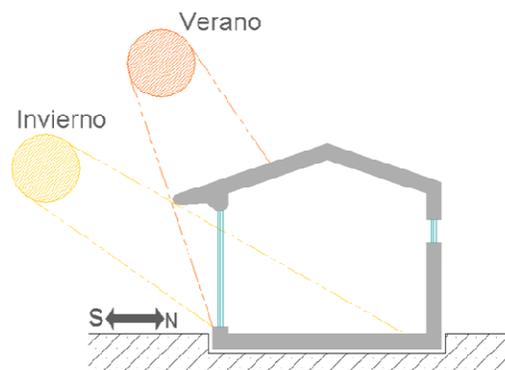
Figura IV.21 Estrategias de enfriamiento pasivo



Fuente: CMM con datos de la Comisión Europea (Lewis, 1997)

Otro buen método lo constituyen aleros, toldos, contraventanas o tejado, que permiten el bajo sol de invierno; pero que obstruyen el alto sol de verano. El tejado obstruirá solamente los rayos directos del sol, por lo que es necesaria una forma adicional de protección, como persianas o cortinas, para reducir la cantidad de calor que se recibe de la luz del sol indirecta o reflejada. La protección contra el sol en el exterior es más efectiva que la protección en el interior, ya que la energía solar es obstruida antes de que entre y caliente la estructura (UTEP, 2006).

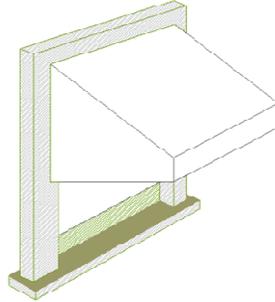
Figura IV.22 Aleros en techo dan sombra en invierno



Fuente: CMM con datos del Centro de Energía de la Universidad de Texas (UTEP, 2006)

Desafortunadamente muchas casas ya construidas no cuentan con aleros adecuados para la protección solar durante el verano, y el costo de adaptarlos puede ser caro. Una alternativa a los aleros es el toldo, el cual puede estar hecho de lona, revestimiento de madera u otros materiales, para abaratar costos.

Figura IV.23 Toldos para ventanas

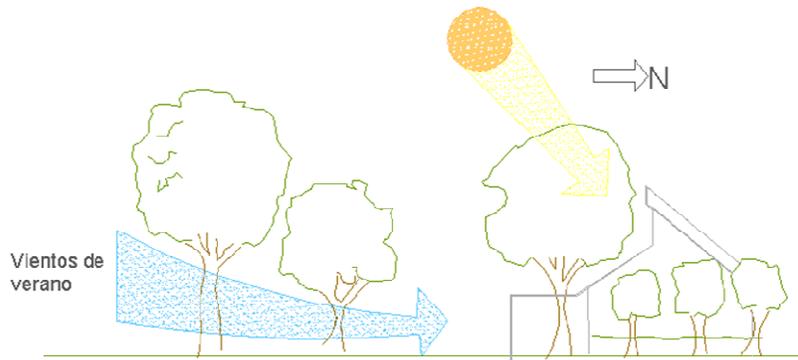


Fuente: CMM con datos del Centro de Energía de la Universidad de Texas (UTEP, 2006)

Otra alternativa es poner en el exterior persianas retractables de bambú, paja, lona, yute o vinilo, colgadas desde lo más alto hasta abajo en una ventana expuesta excesivamente a la luz del sol; son económicas y fáciles de instalar.

Si se usan árboles caducifolios como protección contra el sol, la pérdida de hojas durante el invierno es un método natural de permitir que la luz natural entre cuando sea necesaria.

Figura IV.24 Protección contra el sol por medio de árboles



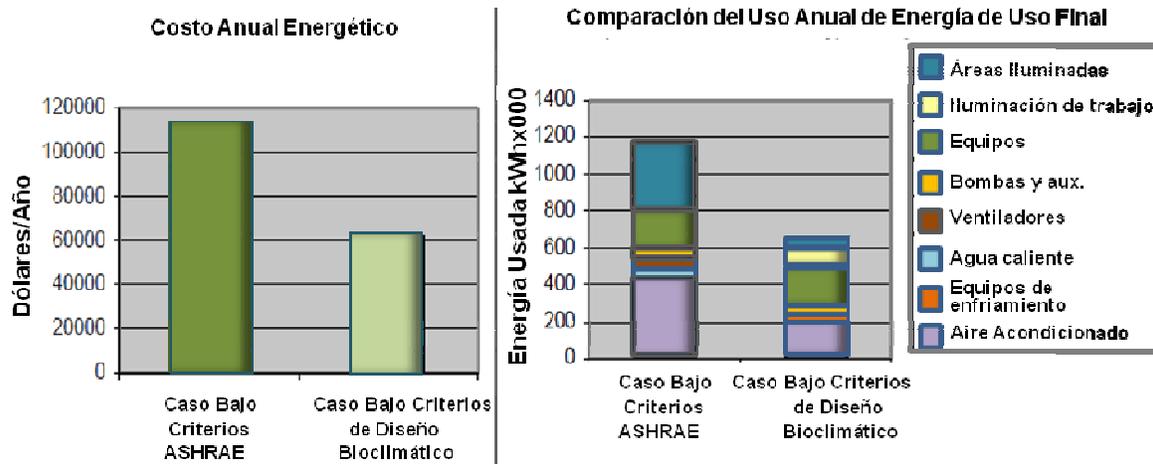
Fuente: CMM con datos del Centro de Energía de la Universidad de Texas (UTEP, 2006)

La vegetación constituye un elemento de alto valor ambiental en el diseño arquitectónico, ya que ayuda a refrescar el microclima, manteniendo los niveles de temperatura y humedad adecuados para lograr el confort de los usuarios, por lo cual es igual de importante tanto al interior como al exterior (Werner, 1997b).

A continuación se presenta un análisis de los costos en la edificación en cuanto al consumo energético, comparando un edificio al que le son aplicados criterios de acuerdo al

ASHRAE (equipos eficientes), con otro al que además le son aplicados criterios de diseño bioclimático.

Figura IV.25 Esquema comparativo de costos en cuanto a consumo energético anual en la edificación.



Fuente: CMM con datos de Rocky Mountain Institute (Olgay, 2006)

En los últimos 20 años la comunidad europea ha avanzado en el liderazgo mundial en las técnicas del diseño bioclimático, incluso por arriba de los Estados Unidos, desarrollando nuevos temas que han cobrado importancia en una situación cada vez más compleja. Estas técnicas actualmente se aplican en el resto del mundo.

En México por el contrario, las experiencias adquiridas a lo largo de varios siglos, desde la arquitectura mesoamericana, la propia de la colonia y la usada hasta el pasado siglo XX se han abandonando o perdido casi por completo, olvidando la identidad cultural que tanto distingue al país; aún es posible su rescate, habrá que retomar las diferentes expresiones arquitectónicas representativas del mosaico geográfico diverso del que dispone el país.

En síntesis, se pueden obtener importantes reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero por medio de un diseño bioclimático de la construcción:

- **Diseño eficiente**
 - ✓ Mejorar el sitio
 - ✓ Reducir consumo energético en la edificación
 - ✓ Mejorar la envolvente
 - ✓ Mejorar los sistemas y operaciones
- **Generación de energía renovable**
 - ✓ Generación en sitio (energía solar o eólica).
 - ✓ Coordinación de: edificación, sitio, transporte y utilidad de carga.
- **Compra de energía renovable**
 - ✓ Eólica (viento).

Con ello, los constructores de edificios pueden obtener certificados por su aportación en la reducción de bióxido de carbono equivalente y contribuir con ello al control de estos gases de efecto de invernadero.

La conservación de la energía en el diseño de la edificación, así como una adecuada planeación, es muy importantes para el desarrollo urbano sustentable y el control de la contaminación ambiental; por lo que es indispensable que estas prácticas sean instrumentadas con éxito en los países en desarrollo.

Una fase que no se debe descuidar es durante la operación del edificio, en la que se deberá verificar y optimizar el desempeño del edificio y crear el acervo requerido para el diseño de futuros desarrollos inmobiliarios (Olgay, 2006)

El enfoque de los proyectos de construcción futuros, debe ser una combinación balanceada de diseños pasivo y activo, junto con el uso de energías renovables tales como celdas solares y generadores de viento; adaptados a cada región climática y a su condición socio económica.

IV.6 Estado del arte del equipamiento en las edificaciones

Dentro de las edificaciones existen equipos que han evolucionado ampliamente con la finalidad de brindar ahorros energéticos. En esta sección se exploran diversas tecnologías de vanguardia que minimizan el consumo energético en las edificaciones y generan energía eléctrica para consumo dentro de la edificación.

IV.6.1 Iluminación

De acuerdo con el estudio Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in México, publicado por el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas, el consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación en 7 tipologías de edificaciones comerciales es de aproximadamente el 25% del consumo eléctrico total (United Nations Environment Programme, 2009). Si comparamos los resultados presentados en este documento, con los consumos eléctricos unitarios máximos basados en la potencia eléctrica máxima establecida en la NOM-007-ENER-1995, la norma es excedida por las edificaciones construidas hasta el momento en nuestro país. De ahí la importancia de contar con luminarias eficientes en todas las edificaciones para alcanzar una economía baja en emisiones de carbono.

A continuación se presenta el estado del arte de los diferentes tipos de lámparas utilizados en las edificaciones.

Lámparas incandescentes

En México, las lámparas incandescentes dominan la iluminación principalmente por la diferencia de costos entre éstas y otras energéticamente más eficientes. A lo largo de los años, la tecnología de las lámparas incandescentes ha evolucionado a través de la modificación del filamento y del gas de relleno dentro del bulbo. Lo anterior ha logrado que en la actualidad estas lámparas tengan un promedio de vida de 1000 horas y una eficacia luminosa de entre 7.5 y 20 lúmenes por Watt (lm/W), sin embargo existen lámparas con una vida útil diez veces mayor al promedio y con rendimiento luminoso de hasta 100 lm/W.

Las lámparas incandescentes son poco eficientes en comparación con lámparas fluorescentes o con LED. Lo anterior, sumado a la tendencia mundial encaminada al ahorro energético, ha dado un gran impulso a este tipo de tecnologías más eficientes, incorporándolas cada vez más a las edificaciones.

Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son luminarias que cuentan con una lámpara de vapor de mercurio a baja presión. Su gran ventaja frente a otro tipo de lámparas, como las incandescentes, es su eficiencia energética.

En México, las lámparas fluorescentes a la venta son reguladas por la NOM-017-ENER-1997. La eficiencia luminosa normada varía de 38 a 61.5 lm/W dependiendo de la cantidad de Watts consumidos por las lámparas.

En el mercado nacional e internacional, existen dos tipos de las lámparas fluorescentes:

ESL (energy saving lamp) – se refieren a lámparas fluorescentes compactas con un balastro integrado a la base de la misma; este tipo de lámparas generan luz a través del flujo de materiales y vapores en gases. La característica distintiva de estas lámparas es que el tubo de descarga de gas es muy pequeño y se encuentra doblado. Su tiempo de vida promedio es de 15,000 y su rendimiento luminoso de 54 lm/W con máximos hasta de 70 lm/W.

LFL (linear fluorescent lamp) – son lámparas cubiertas de un material fluorescente que convierte la luz UV generada por el vapor de mercurio en luz de varios espectros. La presión dentro del cuerpo de la lámpara es apenas de una fracción de la presión atmosférica, de ahí que se les conozca también como lámparas de baja presión. Al igual que las lámparas ESL, éstas cuentan con un balastro que sirve para limitar el flujo de corriente ya que por lo general operan con tan sólo un quinto del consumo eléctrico de una lámpara incandescente. Su tiempo de vida nominal varía de 5,000 a 45,000 horas.

La disposición de cualquier lámpara fluorescente no deberá hacerse en los residuos domésticos ya que contienen trazas de mercurio. Su separación permite que la sustancia luminosa sea reciclada. Dos inconvenientes adicionales de estas lámparas son: que a diferencia de las lámparas incandescentes, éstas no tienen un espectro de color continuo ya que su luminosidad decrece con el paso del tiempo y presentan un desfase entre el momento de presionar el apagador y el momento en que adquiere su brillantez y temperatura óptima de operación.

LED

Los diodos luminiscentes mejor conocidos como LED por sus siglas en inglés (*Light Emitting Diodos*) son semiconductores electrónicos con propiedades de un diodo, es decir, permiten que la corriente eléctrica fluya en una sola dirección y la convierten en una luz monocromática con diferentes longitudes de onda (o colores). Contienen un chip el cual es la pieza central y dependiendo de los materiales del semiconductor empleado, los colores proyectados cambian.

Dos características distintivas de los LED son que pueden ser muy brillantes aún con corrientes pequeñas (entre 20 y 700 miliamperes) y emiten una luz con un rango de espectro limitado. Asimismo, del 50 al 80 por ciento de la energía eléctrica en un LED es

convertida en luz, dando un rendimiento luminoso muy superior a otras luminarias. Adicionalmente, consumen aproximadamente un quinto de la energía eléctrica requerida por lámparas incandescentes y tienen un tiempo de vida hasta de 100,000 horas, lo que equivale a más de 11 años de operación continua.

Un dato importante es que no toda la luz es emitida por el chip, una porción es reabsorbida y transformada en calor; para minimizar lo anterior, existe una tecnología llamada thin-film en la que un espejo es adherido a la parte inferior del LED, logrando reducir este efecto hasta en 75%. El continuo mejoramiento tanto de la eficiencia energética como del diseño, es una cualidad muy importante de esta tecnología. Además, en contraste con las lámparas fluorescentes, los LED no contienen mercurio y por lo tanto pueden ser dispuestos junto con los residuos sólidos domésticos.

Figura IV.26 Diseños de LED



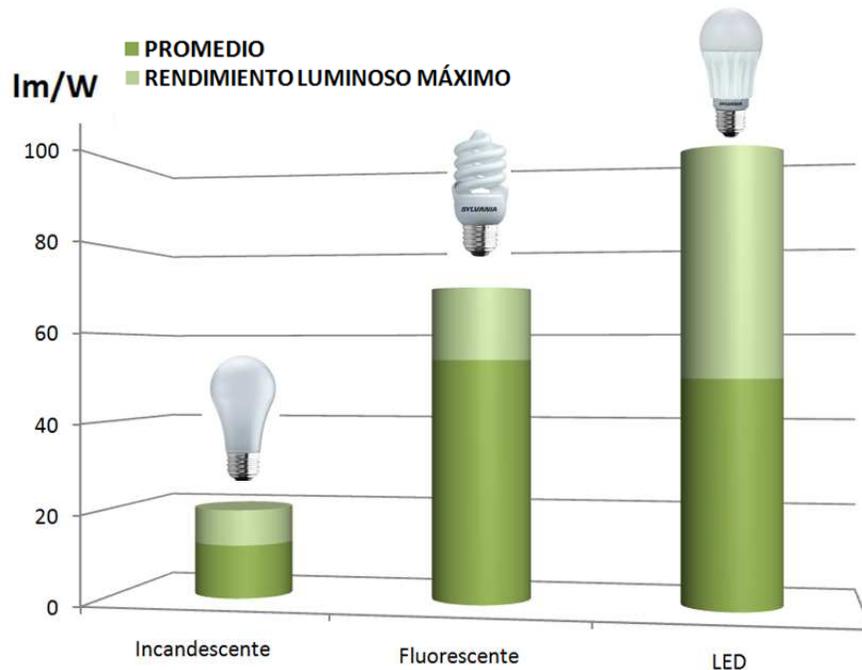
Fuente: (*Green Building Truth*, 2010), (*The Essence Of Living Space*, 2010) y (*Phillips*, 2010)

A pesar de todos los beneficios que tiene esta tecnología, la generación de luz blanca con un buen rendimiento luminoso es la característica clave para que tenga una mejor aceptación en el mercado. El actual rendimiento luminoso promedio es de 50 lm/W, pero el mejor LED hasta el momento puede emitir hasta 100 lm/W (*Forum for Sustainable Development of German Business*, 2008).

Existe un modelo especial de LED que aún se encuentra en proceso de desarrollo, su nombre es OLED (*Organic Light Emitting Diodes*). Este nuevo diseño contiene materiales orgánicos y radiadores de gran superficie; por el momento sus aplicaciones son escasas pero se espera que en un futuro su desarrollo tecnológico ofrezca ventajas superiores a las de los LED.

Con la finalidad de comparar el promedio y el rendimiento luminoso máximo que ofrecen los tres tipos de lámparas descritos en esta sección, se presenta la siguiente gráfica:

Figura IV.27 Comparación de rendimientos luminosos por tipo de lámpara



Fuente: CMM 2010

IV.6.2 Bombas de calor

Las bombas de calor transfieren energía del medio ambiente (aire, agua de mar o subterránea, tierra) en forma de calor para calentar, ventilar un edificio o suministrar agua caliente.

El circuito de una bomba de calor consiste en cuatro fases: el refrigerante se encuentra en estado líquido y fluye a través de un sistema de tuberías ubicado en la fuente de calor. El refrigerante gana calor en la fuente y es conducido hacia un evaporador donde se convierte a estado gaseoso. El gas es comprimido en un compresor donde su temperatura se eleva (la energía eléctrica es empleada en este paso). Posteriormente el refrigerante libera el calor en su destino (agua o aire). La última fase consta de una válvula de expansión el cual limita el flujo y reduce su presión hasta que vuelve a su estado líquido y así puede reiniciar el proceso. Este proceso se logra a través de un aporte de trabajo para producir calor con relativamente poca energía eléctrica requerida.

Los refrigerantes comúnmente usados son el amoníaco, CO₂ y propano; estos gases son sustancias con un punto de ebullición muy bajo el cual hace que su estado de agregación cambie de líquido a gaseoso con una temperatura muy baja.

El fenómeno de transferencia de energía calorífica se realiza principalmente por medio de un sistema de refrigeración por compresión de gases refrigerantes, cuya particularidad radica en una válvula inversora de ciclo que forma parte del sistema. Este elemento permite que el proceso sea reversible y se pueda refrigerar en verano y calentar en invierno (*Forum for Sustainable Development of German Business, 2008*).

De manera general, las bombas de calor se clasifican en los dos siguientes tipos:

Bombas de calor con aire como fuente

Estas bombas proveen calor y ventilación para edificaciones, especialmente si el clima es cálido. Al sistema de este tipo de bombas se les conoce también como *sistemas split* y constan de una unidad principal y un tanque de agua que puede ser instalado tanto en el interior como en el exterior de la edificación. La unidad principal debe ser instalada en un lugar con buena ventilación.

Figura IV.28 Bomba de calor con *sistema split*



Fuente: (Juyang Solar Equipment, 2010)

Dentro de este tipo de bombas de calor las tecnologías más innovadoras se encuentran en dos sistemas. El primero es de refrigeración reversible (*reverse cycle chiller, RCC*), el cual usa el calor guardado en el tanque de agua para enfriar las bobinas en lugar de tomarlo del aire. El segundo es un sistema de refrigeración con recuperador de calor (*refrigeration heat reclaimer, RHR*), el cual calienta agua no sólo durante el invierno, sino también durante el verano, recuperando el calor dentro de la casa. Esto logra que durante el verano se caliente agua de manera totalmente gratuita.

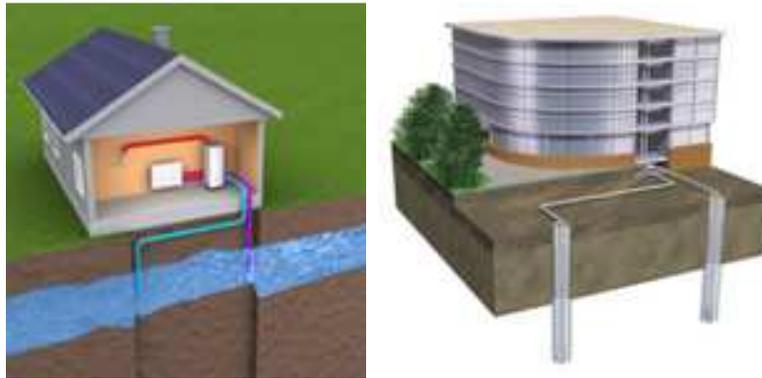
Bombas de calor geotérmicas

Estos sistemas utilizan el calor de la Tierra extrayéndola del: suelo, agua de ríos, lagos, mar, etc., para calentar o enfriar edificaciones. Los tipos de bombas geotérmicas son dos de acuerdo al sistema que utilizan:

1) *Sistemas de circuito abierto*

Este tipo de sistema utiliza agua de pozo o de un cuerpo de agua subterráneo como el fluido intercambiador de calor que circula directamente a través de la bomba de calor. Una vez que ha circulado por la bomba de calor, el agua vuelve al suelo por el pozo. Este sistema es una opción práctica cuando hay una fuente de agua limpia y la extracción y descarga de agua son permitidos por la legislación.

Figura IV.29 Bombas de calor con sistema de circuito abierto



Fuente: (Power Naturally, 2009) y (DAL Air Conditioning, 2009)

2) **Sistemas de circuito cerrado**

En este tipo de sistemas de bombas de calor, se cuenta con tres arreglos distintos de los circuitos de tubería empleados.

Arreglo horizontal – requiere de zanjas de al menos metro y medio de profundidad. Los diseños más comunes utilizan dos tubos: uno enterrado a dos metros y el otro a 1.2 metros; o dos tubos colocados a una distancia de 1.5 m en una zanja de 60 cm de ancho. Sin embargo los diseños más eficientes son los de tipo espiral ya permiten la instalación de mayor cantidad de tubería en menor espacio.

Figura IV.30 Arreglos horizontales de bombas de calor de circuito cerrado



Diseño común

Diseño en espiral (más eficiente)

Fuente: (digtheheat.com, 2009) y (Summit Mechanical, 2009)

Arreglo vertical – este diseño es comúnmente es empleado en edificaciones comerciales o escuelas, ya que no se cuenta con extensiones de terreno amplias extensas o no se desea perturbar la jardinería existente. Este arreglo se construye haciendo huecos de 10 cm de diámetro, con una separación de 60 cm y una profundidad de 30 a 120 metros de profundidad y en estos espacios se colocan tubos que están conectados en la parte inferior.

Figura IV.31 Bomba de calor con arreglo vertical



Fuente: (digtheheat.com, 2009)

Arreglo para cuerpo de agua – este tipo de bomba de calor se utiliza para aprovechar la temperatura de un cuerpo de agua. Este arreglo es el más económico de todos y no genera impactos negativos en el ecosistema acuático.

Figura IV.32 Bomba de calor con arreglo para lago



Fuente: (digtheheat.com, 2009)

IV.6.3 Sistemas solares de calentamiento de agua

Los sistemas de calentamiento de agua son capaces de utilizar la energía térmica radiante del Sol para el calentamiento de agua, lo cual reduce el consumo de gas en las edificaciones. Estos sistemas pueden ser activos y pasivos y se subdividen en:

Activos

Sistemas de circulación directa – se requiere bombas que circule agua a través de colectores solares y dentro de la vivienda. Estos sistemas son ideales para climas donde rara vez existen temperaturas bajo cero.

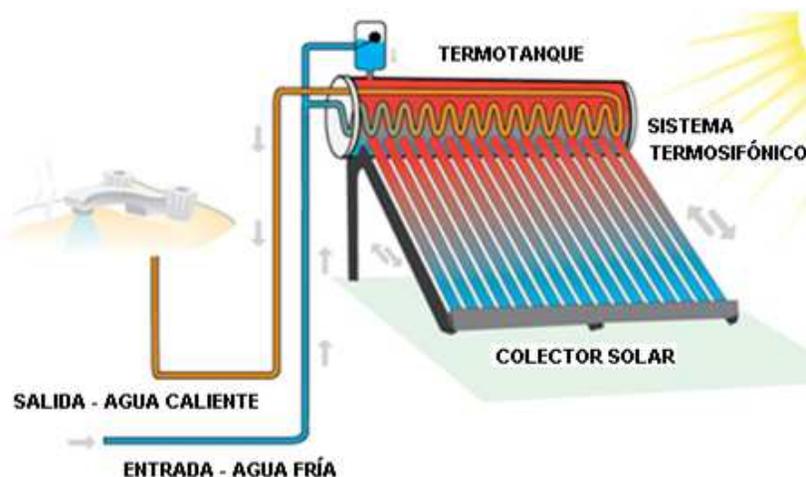
Sistemas de circulación indirecta – estos sistemas cuentan con bombas que circulan un fluido el cual transfiere calor y no se congela, a través de colectores solares y un intercambiador de calor. Éste último calienta el agua y la envía hacia la vivienda. La característica anticongelante del fluido que recircula este sistema, lo hace adecuado para zonas donde se alcanzan temperaturas muy bajas.

Pasivos

A los sistemas solares de calentamiento de agua se les llama Pasivos, porque no requieren de energía eléctrica (bombas) para transportar agua o líquidos refrigerantes hacia cualquier parte de la edificación. Por lo general, estos sistemas están integrados por un colector solar y un termotanque de almacenamiento de agua. El volumen del termotanque de almacenamiento varía dependiendo del número de usuarios y frecuentemente contiene dispositivos termostáticos de control que evitan congelamientos o pérdidas de calor durante la noche. En los equipos domésticos, la temperatura promedio que alcanza el agua dentro de un termotanque es de 65°C.

Sistema termosifónico –funciona mediante la diferencia de temperatura de las capas de líquido estratificadas en el termotanque de almacenamiento. Dado que el termotanque está colocado en la parte superior del colector, el agua que se calienta dentro del colector solar sube hasta el termotanque. Al llegar a éste, calienta el agua que hay en su interior cediéndole energía y enfriándose, con lo cual comienza a circular hacia abajo hasta llegar a la parte inferior de la placa. A partir de aquí el ciclo comienza de nuevo (ver figura abajo).

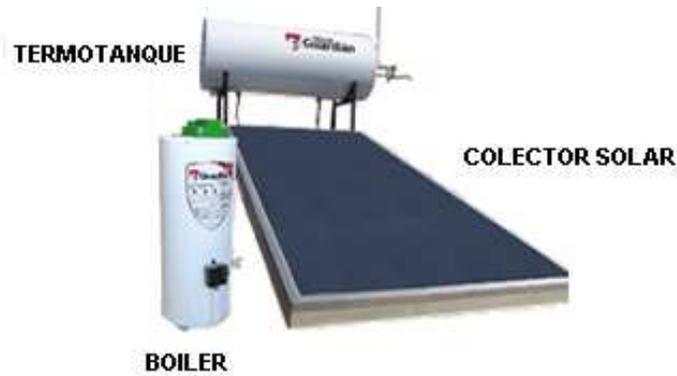
Figura IV.33 Sistema termosifónico



Fuente: (Solar Ray, 2010)

Sistemas híbridos - estos sistemas constan de un colector solar y un termotanque conectado a un boiler convencional para evitar la falta de agua caliente debido a baja radiación solar o a consumos atípicos en la edificación.

Figura IV.34 Sistema híbrido para calentamiento solar de agua



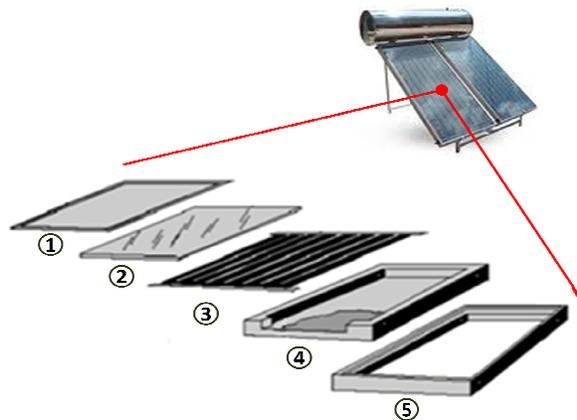
Fuente: (Desarrollo de Productos, 2006)

Los colectores solares son empleados tanto por los sistemas pasivos como los activos. La eficiencia de estos colectores varía dependiendo del tipo de tecnología que utilicen y las características de diseño de los mismos. A continuación se presentan las características de los dos tipos de colectores solares existentes:

Colectores planos – estos calentadores se encuentran aislados y son impermeables gracias a una o varias capas de vidrio o algún otro material transparente, además contienen una placa de absorción negra, la cual es el elemento más importante. Esta placa está unida al tubo por donde circula un fluido térmico portador del calor y es aquí donde se realiza la transferencia térmica. El calor removido es transportado hasta un tanque térmico de almacenamiento de agua.

Figura IV.35 Colector solar plano

1. Marco de aluminio (evita oxidación)
2. Cubierta de vidrio templado o plástico de alto impacto
3. Placa absorbidora (tubos y aletas) y cabezales de alimentación y descarga de agua
4. Aislante (poliestireno o unicel)
5. Caja del colector galvanizada

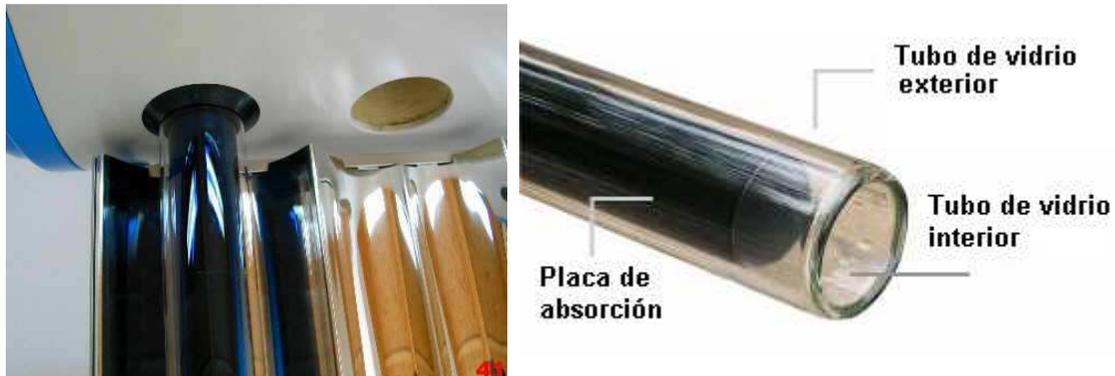


Fuente: (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2009)

Colectores de vacío – están conformados por tubos de vacío con dos cristales concéntricos de borosilicato entre los cuales se hace un vacío. El tubo exterior es transparente y deja pasar los rayos solares al tubo interior recubierto con un material que impide la pérdida de calor. Es a través de este tubo por donde el agua fluye y gana calor por radiación solar. Las bajas pérdidas de calor del tubo interior, hacen que este colector sea el más eficiente de todos.

Adicionalmente a los tubos de vacío se pueden agregar espejos CPC (concentración parabólica compuesta) los cuales concentran y reflejan la radiación solar hacia el tubo de vacío. Estos espejos permiten una transferencia de calor mayor a la esperada con únicamente arreglos de tubos de vacío.

Figura IV.36 Tubos de vacío y espejos CPC



Fuente: (CODESO, 2009) y (Thermosol, 2005)

IV.6.4 Celdas fotovoltaicas

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, cuando el silicio se mezcla con otros materiales, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de fotones provenientes de la luz solar. Así, los electrones son excitados por los fotones, moviéndose a través del silicio y produciendo una corriente eléctrica directa. Las placas fotovoltaicas se dividen en cristalinas y amorfas. En las primeras el silicio se encuentra cristalizado, a diferencia de las segundas. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años (Planet, 2010).

El parámetro estandarizado para clasificar la potencia de una celda fotovoltaica se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo condiciones estandarizadas de radiación (1000 W/m^2) y temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. La implementación de un sistema fotovoltaico doméstico requiere el uso de paneles con potencias de salidas entre 60 y 100 Watts.

Una nueva tecnología de celdas fotovoltaicas conocida como thin-film. Esta tecnología consta de una capa delgada (0.5 mm de ancho) de material foto-activo, usualmente de silicón amorfo y polímeros de litio, que ofrecen ventajas como la reducción en el peso (900 g/m^2), flexibilidad, menor costo de fabricación, mayor eficiencia y opera en temperaturas de

-20°C a 65°C. Dadas estas características, las celdas pueden ser adheridas a superficies diversas dentro de las edificaciones como vidrios, techos, sombrillas, paraderos, etc.

Figura IV.37 Tecnología thin-film de celdas fotovoltaicas



Fuente: (Konarka Technologies, 2010)

Existen otras tecnologías que aún se encuentran en investigación, las cuales son más eficientes, delgadas y ligeras. Algunos de estos desarrollos incluyen paneles con cobre-indio (galio)-diselenio (CIGS) y su vida útil alcanza hasta los 20 años.

IV.6.5 Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en energía mecánica. Esta energía mecánica se puede utilizar para tareas específicas como bombear agua o en un generador para convertirla en electricidad. El viento es una forma de energía solar ya que está relacionada con el movimiento de las masas de aire calentadas por efecto del Sol, haciendo que se desplacen de zonas de alta presión atmosférica hacia otras adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión).

Este tipo de generación de energía eléctrica tiene un tiempo de construcción mucho menor con respecto a otras fuentes energéticas, por lo que son convenientes cuando se requiere tiempo de respuesta rápida.

Turbinas eólicas en edificios

Usualmente, en las edificaciones se emplean turbinas eólicas menores a 50 kW junto con generadores a diesel, baterías y sistemas fotovoltaicos. A estos sistemas se les denomina sistemas eólicos híbridos. Sin embargo, en el año 2007, tres turbinas eólicas de 29 metros de longitud fueron instaladas sin sistemas híbridos en el World Trade Center de Bahrein, el cual es un rascacielos de dos torres gemelas.

Existen también turbinas diseñadas exclusivamente para edificaciones, un ejemplo de éstas es la turbina Wind Cube, la cual mide 7x7x4 metros y puede generar 160 MW por año con un viento de 22 km/h. Este diseño tiene la particularidad de rotar para concordar con la dirección del viento, además para la protección de las aves, cuenta con una malla protectora que deja entrar al viento pero impide que sean atrapadas en la turbina. Otros diseños semejantes pueden ser instalados en los techos de diversas edificaciones, tanto comerciales como habitacionales.

Figura IV.38 Ejemplos de turbinas eólicas en edificaciones



Ohio, Estados Unidos

Edificio Razor, Londres, Inglaterra

WTC, Bahrein

Fuente: (Green Energy Technologies, 2009), (Nylind, 2010) y (eRenovable.com, 2007)

Generadores mini-eólicos domésticos

Estos sistemas son los equipos de energías renovables con mayor costo-beneficio en las viviendas. Pueden reducir el consumo eléctrico en una vivienda entre el 50 y el 90 por ciento (US Department of Energy, 2009). Estos equipos pueden ser utilizados tanto para la generación de energía eléctrica, como para bombear agua en granjas o ranchos.

Los diseños de estos generadores son muy variados y se encuentran en constante evolución, con la finalidad de encontrar mejores características aerodinámicas y de rendimiento energético. La siguiente figura muestra diversos diseños e inclusive un arreglo híbrido (celdas fotovoltaicas con generador eólico). Los arreglos híbridos son ya una tendencia en el uso de energías renovables.

Figura IV.39 Diseños de generadores mini-eólicos domésticos



Fuente: (WebEcoist, 2009), (The future of wind power, 2010), (DeMorro, 2009) y (Jet Point, 2009)

IV.6.6 Aire acondicionado

De acuerdo con ASHRAE, el aire acondicionado es un sistema con cuatro objetivos específicos simultáneos que controlan: la temperatura, la humedad, la circulación y calidad del aire. Existen muchos tipos de sistemas acondicionados, algunos usan bobinas para refrigeración de expansión directa, mientras que otros utilizan enfriadores de agua. Los primeros son comúnmente usados en hoteles, mientras que los segundos generalmente se utilizan para edificios comerciales. Sin embargo, en cualquier tipo de aire acondicionado que se utilice, las bobinas en el sistema son requeridas para enfriar la temperatura ambiente menor a la del aire. En estos sistemas, las bobinas de expansión o enfriadores de agua remueven el calor del aire que pasa a través de ellos con ayuda del evaporador, el cual es responsable de absorber el calor.

En general, un sistema de aire acondicionado consiste en tres principales componentes: la unidad exterior (condensador o compresor), la unidad interior (ventilador o evaporador) y el termostato interno (Kubba, 2010).

La capacidad de refrigeración de los sistemas de aire acondicionado se mide en diferentes unidades:

- a) Toneladas de refrigeración: cantidad de calor que se necesita extraer para bajar un grado Fahrenheit a una tonelada (2,000 lb) de agua pura.
- b) BTU: unidad de energía que representa la cantidad de calor a extraer para bajar un grado Fahrenheit a una libra de agua.
- c) Frigorías: es la cantidad de calor que debemos sustraer a un kilogramo de agua a 15 grados Centígrados para disminuir su temperatura un grado Centígrado.

En México, la capacidad necesaria para enfriar una vivienda varía de 6,000 a 28,800 BTU, dependiendo de los metros cuadrados a enfriar y la zona del país. Para edificaciones

comerciales, se requieren de 6,000 a 60,000 BTU para enfriar hasta 5 toneladas de refrigeración.

Entre los sistemas de aire acondicionado comunes, se dividen en dos categorías cuya diferencia radica únicamente en la forma en que se instalan los equipos:

1. Unidades de Ventana: se instala en el hueco de una pared, como si fuera una ventana, por lo que es necesario que la pared de hacia el exterior de la edificación.
2. Unidades Mini-Splits: estas unidades pueden instalarse tanto en la parte alta de una pared (High Wall), como en el techo (Flexiline).

Actualmente existen sistemas de aire acondicionado que combinan celdas fotovoltaicas para dar energía al equipo. Estos sistemas ofrecen una alternativa más eficiente para satisfacer el consumo energético de estos equipos.

Figura IV.40 Aire acondicionado con celdas fotovoltaicas



Fuente: (My point now.com, 2010)

Existen unas nuevas tecnologías desarrolladas en diversos países que ofrecerán en un futuro mejores eficiencias energéticas. Una de ellas fue desarrollada de forma experimental en México, no contamina el ambiente porque utiliza agua como refrigerante. El diseño se basa en extraer el agua destilada del circuito de un aire acondicionado y reponerla con agua salada del mar antes de que el agua destilada llegue a su punto de saturación (Planeta Azul, 2007). Otra tecnología desarrollada en el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos, consiste en un diseño que aumenta la eficiencia y elimina los GEI utilizados por los sistemas de aire acondicionado. El sistema que se diseñó combina el enfriamiento por evaporación con un material que absorbe el agua para proporcionar aire fresco y seco, usando hasta 90 por ciento menos energía (Technology Published by MIT, 2010).

FÓRMULAS QUÍMICAS Y UNIDADES

μm	Micrómetro
As	Arsénico
C_2H_6	Etano
Ca(OH)_2	Carbonato de calcio
MtCO_2e	Mega toneladas de bióxido de carbono de emisión efecto invernadero
CaCO_3	Hiróxido de calcio
Gwh	Giga watts hora
Kwh / m^2	Kilo watts hora por metro cuadrado
Pj	Pentajoules

FUENTES DE INFORMACIÓN

Fuentes bibliográficas y hemerográficas

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. A. A.-C. E. (2010).
- AMERLINK, M. J. (2008) Arquitectura Vernácula y Turismo: ¿Identidad para quien? . *Destiempos*, 15, 8.
- ASHRAE (2003) Future Advanced Windows for Zero-Energy Homes. *KC-03-12-3*, 12.
- ASIA_PACIFIC_ENERGY_RESEARCH_CENTRE (2010) APEC energy overview 2009. WordsWorth Writing ed. Kachidoki, Chuo-ku, Tokyo, Asia-Pacific_Economic_Cooperation_(APEC)_Secretariat.
- BUERBA, C. (2009) Estrategias Arquitectónicas por Subclimas para la Republica Mexicana *Energía Racional*. 19 ed. México, D.F., FIDE.
- BUREAU_OF_ENERGY_EFFICIENCY (2006) Energy Conservation Building Code 2006.
- CALIFORNIA_BUILDING_STANDARDS_COMMISSION (2008) California Green Building Standards Code. IN COMMISSION, C. B. S. (Ed.) 1st. ed. Sacramento, CA. United States of America.
- CALIFORNIA_ENERGY_COMISSION (2008) Building Energy Efficiency Standards. *CEC-400-2008-001-CMF*. Sacramento, CA. United States of America.
- CALIFORNIA_PUBLIC_UTILITIES_COMMISSION (2008) California Long Term Energy Efficiency Strategic Plan: Achieving maximum energy savings in California for 2009 and beyond. San Francisco, Cal. United States of America.
- CENTRO_MARIO_MOLINA (2008) Low-Carbon Growth: A Potential Path for Mexico. Ciudad de México.
- CLIMATE_PROTECTION_PARTNERSHIP_DIVISION_IN_THE_U.S._ (2003) Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Washington, DC.
- COMISIÓN INTERSECRETARIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, C. (2009) Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. IN FEDERAL, P. E. (Ed.). México, D.F.
- COMMISSION, C. B. S. (2009) California Green Building Standards 2008 (CALGreen).
- CONAVI (2006) Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda. IN CONAFOVI, G. (Ed.) Primera ed. México, D.F., CONAFOVI.
- CORTES, S. E. (2009) Condiciones de Aplicación de las Estrategias Bioclimáticas. *Ciudades para un futuro más sostenible*. La Serena, Chile.

- DEPARTMENT_FOR_COMMUNITIES_AND_LOCAL_GOVERNMENT (2006) Code for Sustainable Homes. A step-change in sustainable home building practice. 06 BD 04224. West Yorkshire, United Kingdom.
- DISTRITO_FEDERAL (2008) Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables.
- ENTE_VASCO_DE_ENERGÍA (2006) Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma del País Vasco
- ERENOVABLE.COM (2007) El primer edificio integrado con turbinas eólicas del mundo.
- EUROPEAN_PARLIAMENT (2002) Directive on the energy performance of buildings (EPBD). IN UNION, E. (Ed.) 2002/91/EC. Brussels, Belgium.
- HOGG, E. (2008) MAC Curves for the Domestic and Non-Domestic Building Sectors - Technical Documentation. Primera edición ed. Londres, Inglaterra, Committee on Climate Change.
- INSTITUTO_DE_CIENCIAS_DE_LA_CONSTRUCCIÓN_Y_MINISTERIO_DE_VIVIENDA_DEL_GOBIERNO_DE_ESPAÑA (2008.) Documento Básico HE, Ahorro de energía. IN ESPAÑA, M. D. V. D. G. D. (Ed.). Madrid, España.
- INTERGOVERNMENTAL_PANEL_ON_CLIMATE_CHANGE_IPCC (2007) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) ed.
- INTERNATIONAL_CODE_COUNCIL (2010) International Green Construction Code™: Safe and Sustainable: By the Book.
- INTERNATIONAL_ENERGY_AGENCY (2008) Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings. International_Energy_Agency.
- INTERNATIONAL_ENERGY_AGENCY_(IEA) (2009) Energy Efficiency requirements in Building Codes and Energy Efficiency Policies for New Buildings. *Sustainable Buildings & Climate Index*. París, Francia.
- JET POINT (2009) 15 unconventional wind turbine designs.
- KUBBA, S. (2010) *LEED Practices, Certification, and Accreditation Handbook*, Elsevier Inc.
- LAUSTSEN, J. (2009) Energy Efficiency requirements in Building Codes and Energy Efficiency Policies for New Buildings. IN UNEP_SBCI (Ed.) *Sustainable Buildings & Climate Index*. Paris, France.
- LAWRENCE_BERKELEY_NATIONAL_LABORATORY (2006) THERM 5.2 / WINDOW 5.2 NFRC Simulation Manual. IN BUILDING_TECHNOLOGIES_DEPARTMENT_ENVIRONMENTAL_ENERGY_TECHNOLOGIES_DIVISION (Ed.). California, Regents of the University of California.

- LAWRENCE_BERKELEY_NATIONAL_LABORATORY_AND_U.S._DEPARTMENT_OF_ENERGY_THIS (2006) Zero Energy Windows. *LBNL-60049*, 15.
- LEWIS, J. R. G. A. J. O. (1997) The Demonstration Component of the Joule - Thermie Programme. IN COMMISSION, E. (Ed.). Dublín, Energy Research Group, University College Dublin.
- LIU, K. A. (2003) Thermal performance of green roofs through field evaluation. Ontario, Canada National Research Council, Institute for Research in Construction
- MASSACHUSETTS_ZERO_NET_ENERGY_BUILDINGS_TASK_FORCE (2009) Getting to Zero, Final Report. Boston, MA. United States of America.
- MORILLÓN, D. (2002) Atlas Bioclimático de la Republica Mexicana IN INSTITUTO DE INGENIERÍA, U. (Ed.). México, D.F., David Morillón G.
- MORILLÓN, D. (2003) Comportamiento Bioclimático en la Arquitectura. Chiapas, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- MY POINT NOW.COM (2010) Lennox Solar Air Conditioning.
- NHBC_FOUNDATION (2009) ZERØ CARBØN CØMPENDIUM – who's doing what in housing worldwide. PRP Architects ed. Amersham Bucks, United Kingdom, National House Building Council Foundation.
- NYLIND, L. (2010) London landmark building will generate 8% of its energy needs.
- OLGYAY, V. (2006) Reducing Green House Gas Emissions through Green Building Design IN INSTITUE, R. M. (Ed.) *Aspen Climate Action Conference*. Aspen, Canada, Victor Olgay.
- ONCEE (2009) Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico- Valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana, especificaciones y verificación. IN (CONAVI), C. N. D. V. (Ed.) *NMX-C-460-ONNCCE-2009*. Ciudad de México, Organismo_Nacional_de_Normalización_y_Certificación_de_la_Construcción_y_Edificación_
- PARLIAMENT_OF_THE_UNITED_KINGDOM (2008) Climate Change Act 2008. *Chapter 27*.
- PUVANANT, C. (1999) Bioclimatic Design, The Vital Approach to Sustainable Environment and Pollution control of Asian Cities. *Regional IHS Refresher Course on "Sustainable Environment Policies and Pollution Control Strategies in Cities"* 9.
- QUASCHNING, V. (2008) *Renewable Energy and Climate Change*, Wiley, IEEE Press.
- ROTH, K. (2010) Phase Change Materials (PCM) technology for building materials. *ASHRAE Journal*, 5.

- SECRETARÍA DE ENERGÍA, S. (2007) *Balance Nacional de Energía 2006*, México, D.F., Secretaría de Energía, SENER.
- SECRETARÍA_DE_ENERGÍA_(SENER) (2001) Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales
- IN CONUEE (Ed.) *NOM-008-ENER-2001*. Ciudad de México, Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de Recursos Energéticos.
- SELKOWITZ, S. (2010) Defining and Measuring Performance For High Performance Buildings. IN LABORATORY, L. B. N. (Ed.) *Integrated Facades Symposium*. Pacific Energy Center, San Francisco.
- SENATE_AND_HOUSE_OF_REPRESENTATIVES (2007) Energy Independence and Security Act of 2007. *H. R. 6*. City of Washington, United States of America.
- SHERRIF, A. (2003) PCM Technology for Building Materials. Auckland, Nueva Zelanda Department of Chemical and Materials Engineering, The University of Auckland.
- THE_FUTURE_OF_WIND_POWER (2010) Residential Wind Turbine Styles.
- THE_ENERGY_AND_RESOURCES_INSTITUTE (2006) Green Rating for Integrated Habitat Assessment.
- U.S._DEPARTMENT_OF_ENERGY (2010) Building Energy Codes 101: An Introduction. IN PROGRAM., B. E. C. (Ed.). U.S. Department of Energy.
- UNEP-SUSTAINABLE_BUILDINGS_&_CLIMATE_INITIATIVE (2009) Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico. Odón de Buen R., M.Sc. ed., United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP-SUSTAINABLE_BUILDINGS_AND_CONSTRUCTION_INITIATIVE (2007) Assessment of policy instruments for reducing greenhouse gas emissions from buildings. United Nations Environmental Programme (UNEP).
- UNEP-SUSTAINABLE_BUILDINGS_AND_CONSTRUCTION_INITIATIVE (2008) The Kyoto Protocol, the Clean Development Mechanism, and the Buildings and Construction Sector. United Nations Environment Programme.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, U. (2009) Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico. Paris, UNEP DTIE, Sustainable Consumption & Production Branch.
- UNITED_NATIONS_ENVIRONMENT_PROGRAMME_AND_SUSTAINABLE_BUILDINGS_&_CLIMATE_INITIATIVE (2009) Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico. Primera edición ed. Paris, Francia, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
- UTEP (2006) Calentamiento y Enfriamiento Natural. Texas, The Energy Center.

VOSS, K. (2009) Towards Net Zero Energy Buildings. IN INTERNATIONAL_ENERGY_AGENCY (Ed.) *IEA SHCP Task 40 / ECBCS Annex 52*.

WERNER, B. (1997) *Patios. 500 años de evolución desde la antigüedad hasta nuestros días*. s. Barcelona.

Fuentes electrónicas

Abu_Dhabi_Urban_Planning_Council. (2008). "Abu Dhabi Estidama Pearls Assessment Method for New Residential and Commercial Buildings." [En línea] Disponible en: <http://www.estidama.org/estidama-home.aspx?lang=en-US>.

BASF. (2010). "BASF, The Chemical Company." [En línea] Disponible en: http://www.basf.com/group/corporate/en/brand/MICRONAL_PCM.

BRE_Global_Ltd. (2010). "BRE Environmental Assessment Method: the Environmental Assessment Method for Buildings around the World.", [En línea] Disponible en: <http://www.breeam.org/index.jsp>.

CODESO. (2009). "Sistema Solar Termosifón con tubos colectores solares al vacío." [En línea] Disponible en: <http://www.codeso.com/EmpresasEcuador/TermoSifon03E.html>.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2009). "Sistemas Térmicos Solares." [En línea] Disponible en: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_630_termosolar?page=2.

Comisión_Nacional_de_Vivienda. (2007). "Código de Edificación de Vivienda." [En línea] Disponible en: http://www.conafovi.gob.mx/programa_codigo.html.

DAL Air Conditioning. (2009). "Heat Pump: Ikea Dublin." [En línea] Disponible en: http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.dal.ie/wp-content/uploads/2009/08/gshp.jpg&imgrefurl=http://www.dal.ie/projects/heat-pump-ikea-dublin/&usq=__CSD4u5JHkBm4kEFgCp4XTwYSZI4=&h=150&w=164&sz=9&hl=es&start=188&um=1&itbs=1&tbnid=hb9XbtgTVI5dnM:&tbnh=90&tbnw=98&prev=/images%3Fq%3Dopen%2Bloop%2Bheat%2Bpump%26start%3D180%26um%3D1%26hl%3Des%26client%3Dfirefox-a%26sa%3DN%26rls%3Dorg.mozilla:es-MX:official%26ndsp%3D20%26tbs%3Disch:1.

DeMorro, C. (2009). "The Honeywell Home Wind Turbine." [En línea] Disponible en: <http://gas2.org/2009/07/22/the-honeywell-home-wind-turbine/>.

Desarrollo de Productos, S. A. d. C. V. (2006). "Calentadores de agua a gas y solares." [En línea] Disponible en: <http://www.depsa.com.mx/clientes/calentadores-depsa>.

digtheheat.com. (2009). "Geothermal Ground Source Heat Pump Loop Configurations." [En línea] Disponible en: <http://www.digtheheat.com/geothermal/loopconfigurations.html>.

EcoCustomes_Homes. (2010). [En línea] Disponible en: <http://newsroom.ecocustomhomes.com/?p=19033>.

Energy_and_Environment_Canada. (1996). "Green Globes." [En línea] Disponible en: <http://www.greenglobes.com/design/homeca.asp>.

European_Alliance_of_Companies_for_Energy_Efficiency_in_Buildings. (2008, 11.12.2008). "European national strategies to move towards very low energy buildings, SBI 2008:07." Retrieved 16.06.2010, 2010, [En línea] Disponible en: <http://www.euroace.org/verylowenergybuildings/index.htm>.

Forum for Sustainable Development of German Business, G. F. o. I. (2008). "Technologies for Climate Protection." Retrieved 15/06/2010, 2010, [En línea] Disponible en: http://www.technologies-for-climate-protection.com/index.php?language=english#MainContent_492.

Gobierno_de_España. (2000). "Código Técnico de la Edificación." [En línea] Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/web/>.

Green Building Truth. (2010). "Desarrollan una tecnología de conexión a Internet mediante lámparas LED." [En línea] Disponible en: <http://www.greenbuildingtruth.com/lighting/led>.

Green Energy Technologies. (2009). "Advanced wind energy for the urban environment." [En línea] Disponible en: <http://www.getsmartenergy.com/>.

Institute_for_Building_Environment_and_Energy_Conservation_(IBEC). (2008). "Sistema de Análisis Integral para la Eficiencia Ambiental en Edificaciones (CASBEE)." [En línea] Disponible en: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE>.

Juyang Solar Equipment, C. (2010). [En línea] Disponible en: <http://www.china-heatpumps.com/products/Split-heat-pump-DKRS-015F.htm>.

Konarka Technologies, I. (2010). "Konarka." [En línea] Disponible en: <http://www.konarka.com/>.

Ontario_Association_of_Architects. (2004). "Design Guidelines for Green Roofs." Retrieved Junio de 2010, [En línea] Disponible en: <http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>.

Passiv_Haus_Institut. (1988). "Passiv Haus." [En línea] Disponible en: <http://www.passiv.de/>.

Phillips. (2010). "Lighting." [En línea] Disponible en: <http://www.usa.philips.com/>.

Planet, C. (2010). "Solar Panel Info." [En línea] Disponible en: <http://www.solarpanelinfo.com/>.

Planeta Azul, p. a. (2007). "Logran refrigerante ecológico." [En línea] Disponible en: <http://www.planetaazul.com.mx/www/2007/02/15/logran-refrigerante-ecologico/>.

Power Naturally. (2009). "Ground Source Heat Pumps." [En línea] Disponible en: <http://www.powernaturally.co.uk/gshp.htm>.

Solar Ray. (2010). "Calentadores solares de agua." [En línea] Disponible en: <http://www.solraycentroamerica.com/calentadoresSolares.html>.

Summit Mechanical, I. (2009). "Ground Loop." [En línea] Disponible en: <http://sample.hendricksendesign.com/pages/3.8.2.html>.

Technical_Landscapes. (2010). " Designing a Roof Garden - Insulation ", [En línea] Disponible en: <http://www.technicallandscapes.com/designing-a-roof-garden/insulation.html>.

Techonology Published by MIT. (2010). "An Energy-Saving Air Conditioner ", [En línea] Disponible en: <http://www.technologyreview.com/energy/25623/page1/>.

The Essence Of Living Space. (2010). "Energy efficient LED lamp for your home." [En línea] Disponible en: <http://www.syshenzao.com/2010/03/energy-efficient-led-lamp-for-your-home/>.

Thermosol. (2005). "Los Tubos de vidrio al vacío ", [En línea] Disponible en: <http://www.thermosol.com.mx/tubosDeVidrio.html>.

U.S._Department_of_Energy. (2010, 02.10.2010). "Net-Zero Energy Goals and Objectives." Retrieved 15.06, 2010, [En línea] Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial_initiative/goals.html.

United Nations Environment Programme. (2009). "Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials [En línea] Disponible en: Buildings in México." [En línea] Disponible en: <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-Mexicoreport.pdf>.

US Department of Energy. (2009). "Types of Geothermal Heat Pump Systems." [En línea] Disponible en: http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12650.

US_Departament_of_Energy. (2010). "Types of Insulation." Retrieved 14 de junio de 2010, [En línea] Disponible en: http://www.energysavers.gov/your_home/insulation_airsealing/index.cfm/mytopic=11510.

WebEcoist. (2009). "Wind Turbine." [En línea] Disponible en: <http://webecoist.com/2008/11/16/wind-turbine-power-generators/16-helix-stylish-residential-wind-turbine/>.



Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Paseo de los Laureles No 458 Int. 406

Col. Bosques de las Lomas

C.P. 05120

México, D.F.

T: (+55) 9177.1670

F: (+55) 9177.1690

www.centromariomolina.org

