



# **SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR POR AIRE**

**Lizbeth Montejano Fluchaire**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

Ciudad Universitaria, México. 2008.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



# SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR POR AIRE

TESIS QUE PRESENTA

**Lizbeth Montejano Fluchaire**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



INSTITUTO  
DE INVESTIGACIONES  
HISTÓRICAS



Ciudad Universitaria, México. 2008.

## **JURADO**

### **DIRECTOR:**

Dr. José Diego Morales Ramírez

### **SINODALES**

Dra. Gemma Verduzco Chirino

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz

M. en G. Elda Luyando López

**AGRADEZCO PROFUNDAMENTE A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO POR LA BECA OTORGADA POR EL PERIODO  
EQUIVALENTE AL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA, YA QUE SIN ESTE  
APOYO NO HUBIERA TENIDO LOS MEDIOS SUFICIENTES PARA ALCANZAR  
ESTA META.**

Agradezco a:

Mi **mamá** por su inmenso afecto,  
sus sabios consejos, por ser  
un parteagüas en mi vida,  
y un apoyo incondicional.

A mi hermano y héroe **Axel**,  
quien siempre me ha protegido.

A mi **abuelita** quien seguramente  
de haber tenido esta oportunidad,  
hubiera llegado a hasta este punto.

A **Rosita** por permanecer presente  
cualquiera que fuera mi decisión,  
y a quien espero tener  
siempre en mi vida.

A mi nueva familia **Jaz y Maru**,  
porque formaron paso a paso  
parte de esta investigación y de  
mi vida en los dos últimos años.

Nuevamente a la **UNAM** a la cual estoy en  
deuda por proporcionarme una formación  
profesional y personal desde los años de  
licenciatura.

## **INDICE TEMÁTICO**

### **1. CALEFACCIÓN SOLAR**

- 1.1. Calefacción y calentamiento global
- 1.2. Calefacción
- 1.3. Clasificación
- 1.4. Reseña histórica
- 1.5. Antecedentes
- 1.6. Calefacción solar por aire
- 1.7. Fluido caloportador
- 1.8. Sistemas activos y pasivos
- 1.9. Circulación de fluido caloportador
- 1.10. Componentes de un S.C.S.A.

### **2. COLECCIÓN**

- 2.1. Definición
- 2.2. Funcionamiento
- 2.3. Cubierta transparente
- 2.4. Aislamiento térmico
- 2.5. Carcasa
- 2.6. Placa absorbedora
- 2.7. Tipos de colector en base a placa absorbedora
- 2.8. Inclinación del colector
- 2.9. Deflectores

### **3. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL CALOR**

- 3.1. Subsistema de almacenamiento
- 3.2. Almacenamiento por capacidad calorífica
- 3.3. Almacenamiento físico químico del calor
- 3.4. Almacenamiento de calor en rocas
- 3.5. Almacenamiento de calor en sales hidratadas
- 3.6. Subsistema de distribución
- 3.7. Circulación natural y forzada
- 3.8. Aerocirculador
- 3.9. Accesorios para la distribución del aire
- 3.10. Tipos de SCSA conforme a interacción de elementos

### **4. INTEGRACIÓN DE SCSA**

- 4.1. La unidad colectora como envolvente
- 4.2. Definición
- 4.3. Calefacción integrada por techos
- 4.4. Calefacción integrada por invernaderos
- 4.5. Calefacción integrada por fachadas
- 4.6. Rehabilitación
- 4.7. Casos análogos: Rehabilitación con SCSA

### **5. CATÁLOGO DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS**

- 5.1. Transferencia tecnológica de sistemas energéticos
- 5.2. Catálogo
- 5.4. Solar wall
- 5.5. Cansolair
- 5.6. Matrixair
- 5.7. Solar roofing tile
- 5.8. OM Solar
- 5.9. Watergy
- 5.10. TWD
- 5.11. Muro trombe-Mitchell
- 5.12. Sunmate Solar

### **6. GUÍA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN**

- 6.1. Criterios básicos de selección
- 6.2. Confort térmico
- 6.3. Exigencias adicionales de confort
- 6.4. Zona de suministro
- 6.5. Efectos contraproducentes
- 6.6. Diseño del sistema
- 6.7. Eficiencia del sistema
- 6.8. Aislamiento y hermetismo
- 6.9. Intercambio de calor
- 6.10. Circulación de aire
- 6.11. Capacidad de almacenamiento
- 6.12. Control y usuario
- 6.13. Valor expresivo
- 6.14. Mantenimiento
- 6.15. Ahorro energético, inversión y amortización
- 6.16. Ética medioambiental
- 6.17. Modelo de cálculo de unidad colectora

### **7. ELECCIÓN DE SCSA**

- 7.1. Método de investigación
- 7.2. Descripción del caso de estudio
- 7.3. Análisis de datos climáticos
- 7.4. Análisis de datos bioclimáticos
- 7.5. Cálculo térmico
- 7.7. Análisis de temperatura horaria interna
- 7.8. Empleo de criterios de selección
- 7.9. Elección de SCSA del catálogo
- 7.10. Cálculo de SCSA
- 7.11. Diseño de SCSA

### **8. CONCLUSIONES**

## INTRODUCCIÓN

La calefacción de edificios requiere de importantes cantidades de energía y por lo tanto de dinero. Es por ello que se ha suscitado gran interés en la idea de poder calefactar edificios a través de la energía gratuita y ecológica del Sol, pues módicas temperaturas son requeridas para calefactar espacios habitables. Sin embargo, los primeros éxitos económicos, se dan en lugares donde el acceso al combustible o energía eléctrica se restringe, ya sea por el alto costo o por la carencia del mismo.

Esta tecnología resulta tener un principio tan sencillo, que los griegos y posteriormente romanos, la utilizaban ya en sus construcciones aunque a manera de técnica y no tecnología propiamente. Fue hasta 1767 cuando Horace de Saussure que inspirado por la falta de interés de la comunidad científica por investigar sobre la calefacción solar, realiza los primeros estudios de carácter científico al medir la temperatura máxima obtenible a través de un vidrio y dentro de un volumen cerrado, objeto que resultó ser el primer colector solar de aire. Esto demuestra que aunque no existe novedad alguna en emplear este principio para calentar aire, si existe una verdadera aportación al recopilar y traducir información científica que hasta el momento se encuentra muy dispersa, para que pueda ser empleada por tecnólogos y de esta forma contribuir al conocimiento general generando herramientas de diseño para aplicar sistemas de calefacción solar por aire.

A pesar de la sencillez del principio científico en el que se basa la calefacción solar por aire, solo dos eventos han marcado el impulso y desarrollo de ésta tecnología de modo significativo desde que Saussure creara la caja caliente: la revolución industrial y la crisis energética de la década de 1970; sin embargo, éste tipo de sistema tecnológico aún no ha podido convertirse en un producto de consumo común, al menos en México, porque todavía los combustibles fósiles son accesibles y porque la manera en que ésta tecnología se ha desarrollado no considera en la mayoría de los casos la integración arquitectónica, pero también por el profundo desconocimiento de la comunidad de arquitectos.

El punto alentador para los arquitectos mexicanos es que, debido a que México cuenta con un importante recurso solar, considerar el uso de sistemas de calefacción solar para abatir los efectos negativos por temperaturas bajas, es no solo una actitud certera y sensata sino que además, se está contribuyendo a atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales y a impulsar el desarrollo y progreso general del país. Aunque estas acciones impactan sobre todo a edificios nuevos, se propone a través de ésta investigación la implementación de medidas correctivas térmicas a edificios ya construidos con el uso de la energía solar, por lo que la rehabilitación tiene mayor relevancia para esta investigación que la obra nueva.

De hecho, el interés por atender esta situación radica en que afortunadamente aunque de forma lenta, ya se está poniendo atención en el aspecto bioclimático y sustentable de los edificios; pero en contraste, existe una preocupación de enfocar el estudio a inmuebles existentes al reflexionar sobre la forma en que se soluciona la carencia de confort térmico cuando un usuario manifiesta la sensación de frío. Resulta que se erradica la carencia de confort térmico con equipos convencionales de calefacción o incluso, a pesar de emplear sistemas tecnológicos que usen energías renovables, estos simplemente son sobrepuestos en techos y fachadas. El objetivo entonces, es proporcionar una herramienta para seleccionar, dimensionar,



diseñar y aplicar un equipo de tecnología para calefacción solar que atienda la correcta integración arquitectónica.

Adicionalmente, reacondicionar térmicamente un edificio frente a variables ambientales y de contexto, permite una reducción en el consumo energético y satisface simultáneamente las necesidades de confort térmico de los usuarios (misión principal de un sistemas de calefacción solar por aire). Aunque se estima que los costos por reacondicionamiento térmico resultan superiores a una simple instalación convencional, a mediano y largo plazo no sólo se recupera la inversión inicial sino que puede llegar a eliminarse el costo por suministro energético; y debido a que se cuenta con un espacio climatizado naturalmente, también se reduce el impacto ambiental. Por otro lado, rehabilitar utilizando sistemas de calefacción solar por aire, puede incrementar la plusvalía de un edificio y añadir una cualidad estética más al edificio cuando sistemas de envolvente se trata. Por ejemplo, un inmueble que por el paso de los años tenga un aspecto poco agradable, los materiales que se aplican y que conforma el colector solar, pueden formar parte de la fachada, techo o espacio adicional, con diseños que incluso lo hagan parecer de reciente construcción. Los sistemas de calefacción solar por aire tienen tantas posibilidades de aplicación como la habilidad e ingenio del diseñador lo permitan, entendiendo como colector un dispositivo o el edificio mismo.

Debido a la importancia de rehabilitar un inmueble con un sistema de calefacción solar, la investigación ha dirigido su atención en el empleo de aire como medio transportador del calor, y no del agua, porque la instalación es por mucho, más viable en un edificio ya construido (ver capítulo 1.7); además, son sistemas que generan aportes de calor moderado muy adecuado para el tipo de clima semi frío - Cb'w2 conforme a la clasificación Köppen-, pero también para climas templados donde se hallen inmuebles mal orientados y/o aislados. Estas zonas se hallan ubicadas en la zona centro y montañosa del país, dentro de esta clasificación de área geográfica, el Parque Nacional Desierto de los Leones de la Ciudad de México ha sido seleccionada como área para el caso de estudio como una zona con clima Cb'w2. Al respecto, la investigación se ha concentrado en el estudio de una vivienda unifamiliar que por sus condiciones de diseño, construcción y orientación provoca problemas de desconfort térmico en usuarios.

Cabe aclarar que la propuesta tiene un carácter de tecnología arquitectónica para aplicación y no desarrollo de la misma, éste estudio no involucra pruebas de laboratorio, ni de campo, y simplemente se apoya en la información de organismos de reconocimiento nacional o internacional que hasta el momento han desarrollado y comprobado la eficacia de ésta tecnología, así como en los modelos matemáticos y computacionales para el cálculo predictivo del funcionamiento de la unidad colectora, y subsistema de almacenamiento y distribución.

Por lo anterior, la investigación se clasifica como de tipo descriptivo, ya que el enfoque se plantea sobre conclusiones basadas en realidades. Tiene un carácter cuasi-experimental, porque el cálculo térmico y propuesta de diseño se basan en datos tomados in situ mediante el monitoreo higratérmico en el Desierto de los leones para que tomando datos de inicio pueda realizarse el cálculo térmico correspondiente; además, debido a que no puede aplicarse el diseño ni controlarse las condiciones climáticas (como sucedería en un laboratorio), la investigación se clasifica bajo este rubro. Recopila información de datos ya procesados de organismos internacionales y nacionales que promueven y desarrollan el uso de sistemas pasivos y colectores solares, información que es utilizada tanto para cotejar como para comparar diferentes variables climáticas, características de la construcción, ahorro en consumo energético, costo, eficiencia energética, número de unidades requeridas, sistemas pasivos

complementarios y viabilidad en la instalación; información que es analizada en la Guía de Criterios de Selección desarrollada en el capítulo 6.

Este documento tiene por objeto promover el uso de energías renovables mediante la calefacción solar por aire, basado en el hecho de ofrecer al consultante una introducción a la calefacción convencional y a la calefacción solar por aire (capítulo 1), cuyos términos empleados son explicados en el apéndice creado especialmente para la investigación. La idea es ofrecer los conocimientos básicos de termodinámica para que el lector pueda comprender los capítulos de colección, almacenamiento y distribución (capítulo 2 y 3) en un sentido tecnológico y no técnico; es decir, se pretende que el lector que tenga interés por la calefacción solar por aire comprenda las bases científicas que le permitirán hacer uso no solo de equipos tecnológicos existentes sino de crear estrategias de calefacción solar por aire que conciban al inmueble como la propia unidad de colección, almacenamiento y distribución. El hecho de suprimir las bases científicas, especialmente de termodinámica, reduce sustancialmente la posibilidad de que se diseñe apropiadamente y que no se cumpla con la misión principal de esta investigación, que es la de proporcionar conocimientos y herramientas que propicien la integración arquitectónica de los sistemas de calefacción solar con aire.

En cuanto a conocimientos se refiere en primer término, la clasificación de sistemas de calefacción solar por aire conforme a su aplicación a la envolvente y la compilación de casos de inmuebles que han sido objeto de una rehabilitación (capítulo 4) con este tipo de sistemas y cuyos beneficios han sido palpables; en segundo término se proporciona un catálogo de equipos tecnológicos (capítulo 5) que se presentan de forma sintética a modo de fichas técnicas y la forma en que se realiza la transferencia tecnológica. En cuanto a las herramientas generadas, se proporciona la Guía de Criterios de Selección (capítulo 6) que dividido en dos fases (requerimientos primarios y secundarios) que utilizados para cada caso en particular permiten determinar que sistema de calefacción solar es el más adecuado contando para este fin con 17 variables que van desde la temperatura de suministro de aire caliente hasta las cualidades estéticas. Por medio de un caso de estudio (vivienda unifamiliar en el Desierto de los Leones, Ciudad de México), se proporciona la metodología adecuada para realizar la elección de un SCSA (capítulo 7) y que se basa en primer lugar en el análisis climático, bioclimático y del inmueble para que una vez el rango de confort térmico y la estrategia de climatización adecuada se procede a emplear o no según el resultado obtenido) la Guía de Criterios de Selección, que bajo los dos filtros antes mencionados se realiza la elección final del SCSA para proceder a los cálculos de dimensionamiento correspondientes que llevarán al diseño arquitectónicamente bien integrado.



# 1. CALEFACCIÓN SOLAR

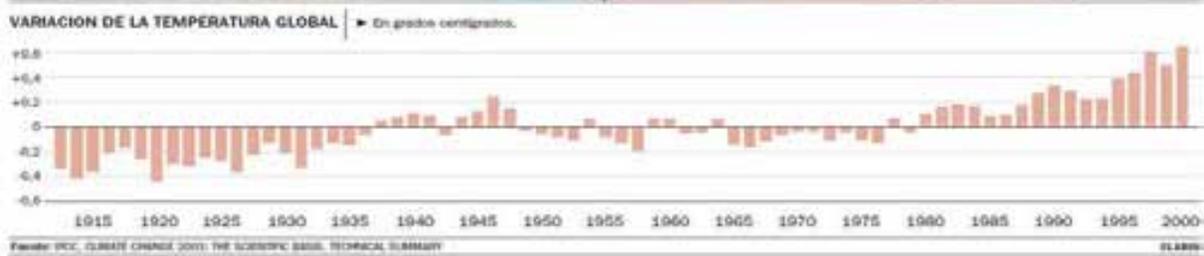
## 1.1. CALEFACCIÓN Y CALENTAMIENTO GLOBAL

Hasta el momento, la ciencia ha aportado suficientes conocimientos para desarrollar tecnología empleando energías renovables; pero el mundo solo ha concentrado su atención cada vez que los combustibles fósiles han escaseado. Y a pesar de los pronósticos desafortunados en cuanto al recurso energético y los efectos de la actividad humana; nuestro estilo de vida en muy poco ha cambiado.

Es cierto que existe una profunda relación entre progreso industrial y el aumento de la demanda energética que sobretodo caracteriza a países desarrollados. Optar por el uso de energías renovables siendo un país desarrollado o en vías de desarrollo, no es un lujo sino una necesidad y prácticamente una obligación. Esto se plantea a partir de considerar que un país industrializado por requerir mayor cantidad de energía debe recurrir a una fuente casi inagotable como la energía eólica, maremotriz, geotérmica y en este caso solar. Por otro lado, un país en vías de desarrollo puede ver mermado el adelanto de su sociedad al depender de energías convencionales, puesto que existe una relación no lineal entre disponibilidad de energía y el desarrollo de una sociedad.

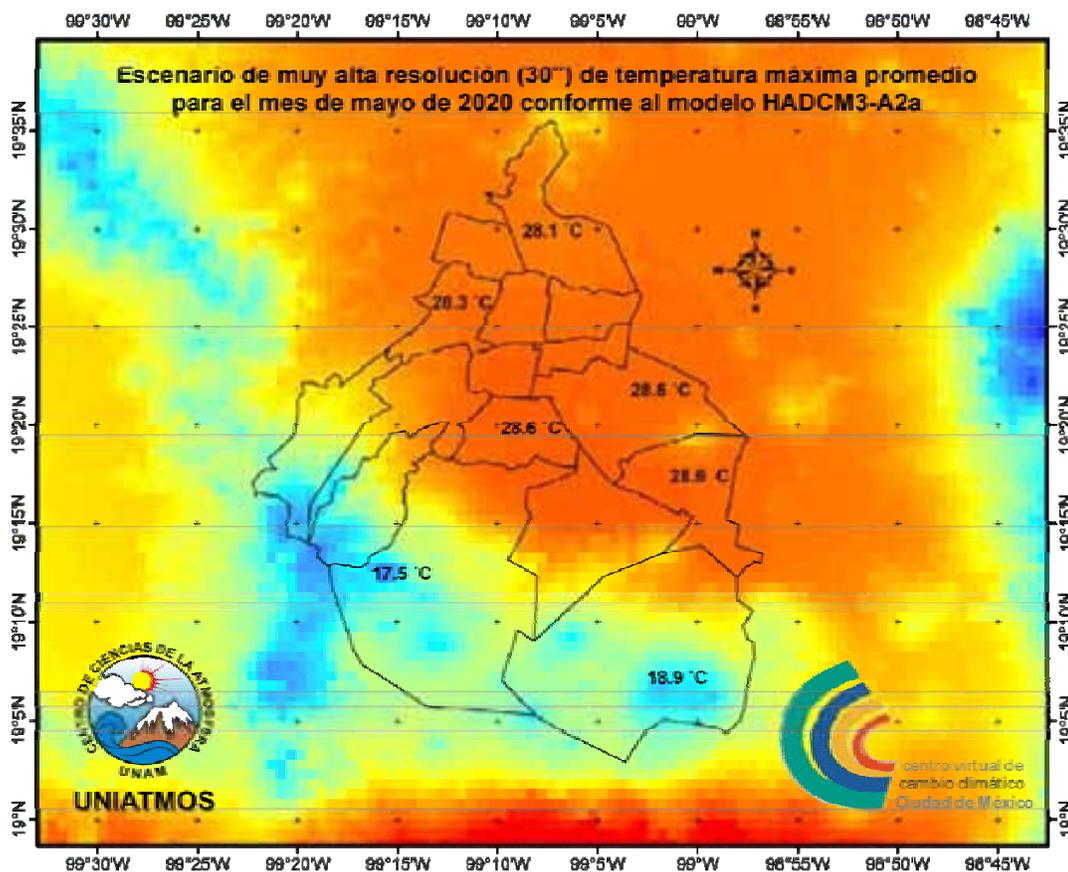
Por eso, el empleo de energías renovables resulta un acierto a nivel gubernamental, y puede convertirse en el motor que impulse a una nación hacia el camino del progreso. Por eso, si como país se desea el bienestar general, el gobierno, como director de la sociedad, debe incrementar y mejorar sus políticas y acciones en pro del ambiente, que incluyan la continua promoción de los beneficios sociales, económicos y ambientales que el uso de las energías renovables conlleva. Invertir en investigación científica es una apuesta con escasos o nulos riesgos, sin embargo, esta apuesta no debe estar desvinculada del ámbito empresarial que es justamente el sector que convierte en realidad la transferencia tecnológica. De hecho, México tiene el escenario ideal para albergar en su territorio un sitio que provoque la interacción de actividades de alta tecnología, centros de investigación, empresas, instituciones financieras y universidades, con el fin de producir un efecto sinérgico del cual puedan emerger nuevas ideas e innovación tecnológica. Lo anterior es conocido como tecnopolis, un concepto urbano-arquitectónico que es un espacio que propicia relaciones basadas en la proximidad; pero más allá de considerarlo una oportunidad de generar ciencia, tecnología y empresas, es una herramienta de desarrollo económico a nivel regional y nacional. Y aunque el encargado de permitir que se suscite un fenómeno tal, es papel de científicos, empresarios y tecnólogos enfatizar la importancia de esta necesidad mediante acciones que evidencien los beneficios para el desarrollo de nuestra nación.

Sabemos que destacados científicos a nivel internacional coinciden en que el incremento de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera terrestre está provocando alteraciones en el clima, sobretodo desde la época de la revolución industrial. Por eso, desde la crisis energética de 1970 empezó a quedar claro que los recursos naturales estaban dilapidándose en nombre del desarrollo. En la actualidad, ya no tenemos duda de que esto sea un hecho. La comunidad de científicos sabe que la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado 0.74 °C durante los últimos cien años, y la velocidad del incremento casi se ha duplicado en los últimos cincuenta años.



F.1. Gráfico de cambio climático histórico. Fuente. IPOC Climate change: 2001

Aún con estos pronósticos desalentadores de variación climática, expertos en la materia que pertenecen al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, tales como la Mtra. Elda Luyando, han hecho estimaciones a partir de datos calculados para escenarios futuros en la Ciudad de México, y se cree que el bioclima de este sitio seguirá conservando un patrón dentro de las sensaciones de fresco a frío en las horas nocturnas y parte de la mañana cuando menos, a lo largo de todo el año; acentuándose por supuesto en la zona montañosa de la Cuenca del Valle de México.



F.2. Escenario previsto de temperatura máxima promedio para el mes de mayo de 2020 en la Ciudad de México. Centro Virtual de cambio climático de la Ciudad de México. <http://132.248.8.222/cvcccm/>



Calentamiento solar por aire



F.3. Calentamiento global simbólico representado en termómetro.

Por lo anterior, creer que por presentarse el llamado “calentamiento global” como fenómeno climático, provocará en las décadas subsecuentes la eliminación de estrategias de climatización que incrementen la temperatura interior de un inmueble, puede convertirse en un error frecuente. Esto puede deberse a que hasta hace poco nuestra relación con el entorno natural se basaba en valores de experiencia empíricos; a partir de una visión renovada por la inminente amenaza de un panorama mundial desafortunado, modelos como la teoría de James Lovelock condujeron a un mejor entendimiento de dichos contextos. El modelo de Lovelock, Gaia (Diosa griega de la Tierra), indica que la atmósfera y parte de la superficie terrestre se comportan como un todo coherente donde la vida (su componente característico) se encarga de autorregular sus condiciones esenciales para conseguir un entorno físico y químico, retroalimentado y óptimo para la vida en base a cambios ecológicos que va sufriendo el sistema de acuerdo a su evolución.

De ahí radica la importancia de que nuestras construcciones deban estar dotadas de estrategias y mecanismos que permitan ante todo adaptabilidad. Si el hombre neolítico en su momento comprendió que tenía una piel natural y buscó una segunda piel llamada vestimenta que tenía la particularidad de ser removida conforme a las condiciones del tiempo, estación del año y paso del tiempo; cuando buscó la tercera piel o refugio, seguramente buscaba que esta se adaptara también a sus necesidades, sin embargo, carecía de las herramientas y recursos para hacerlo. Ya desde tiempos remotos y con pocos recursos el refugio fue una expresión del entendimiento de los beneficios del Sol como la importancia de este para con su desarrollo, pero en el camino aunque las técnicas constructivas se perfeccionaron, el edificio perdió su capacidad de relacionarse con el Sol y en muy poco evolucionó para ser adaptable y tener la característica de dinámico.

Este conocimiento tan valioso que desafortunadamente fue opacándose con el tiempo con otras ideas tecnológicas, hace que hoy día nos sorprendamos de la precisión con que la pirámide Kukulcán en Chichen Itzá y de muestra del dominio y comprensión del posicionamiento solar. No podemos darnos el lujo que esta enriquecida sabiduría solo sea retomada solo cuando el péndulo histórico de la humanidad pasa por puntos de crisis energética. Hoy que nos encontramos de nuevo en esa fase del péndulo, aunque hemos rescatado técnicas y principios de calefacción de la edad antigua, debemos de asegurar de fortalecer la idea de que el camino correcto es proyectar con el Sol, proyectar naturalmente. Nuestras edificaciones entonces, deben de representar la época en la que estamos viviendo.



F.4. Pirámide de Kukulcán en Chichen Itzá. Mérida, Yucatán.

## 1.2. CALEFACCIÓN

La calefacción<sup>1</sup> es un proceso de incremento de temperatura de un espacio cerrado; el calor puede ser transmitido al espacio por convección, radiación o conducción. Por otro lado, la Enciclopedia Columbia manifiesta que la calefacción es un proceso para hacer un edificio confortablemente más caliente respecto a la temperatura exterior más fría. En términos generales la calefacción eleva la temperatura en un espacio determinado, con respecto a la temperatura atmosférica, a un nivel satisfactorio. La Enciclopedia Salvat por su parte, define la calefacción como el mantenimiento de la temperatura dentro de un volumen cerrado donde dos factores determinan la cantidad de calor necesaria para mantener una temperatura interior confortable: a través de la diferencia entre la temperatura interior y la exterior, y la facilidad con que el calor puede fluir a través del espacio cerrado.

Aunque las definiciones anteriores intentan explicar la calefacción como un incremento de la temperatura básicamente, no se especifica a causa de qué ocurre este fenómeno. McQuiston, Parker y Splitter<sup>2</sup> en el capítulo 1 de conceptos fundamentales de su libro *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*, exponen que “la transferencia de energía a un espacio, o al aire dentro de ese espacio, por medio de un diferencial de temperatura entre la fuente y el espacio o el aire contenido en éste” se denomina *calefacción*.

La definición antes citada aunque mejor fundamentada, no abarca la manera en que el calor transferido al espacio por diferencial de temperatura es después transmitido (convección, radiación o conducción) como en cambio si lo determina la Enciclopedia Británica; ni tampoco abarca el concepto de confort térmico como sucede con la segunda definición al mencionar “a un nivel satisfactorio” y la definición de la Enciclopedia Salvat especifica la característica básica del espacio al decir “un volumen cerrado”.

## 1.3. CLASIFICACIÓN

**Sistemas de aire:** Calefacción que se basa en la circulación de una corriente de aire caliente ya sea por la acción natural de la gravedad o de circulación forzada cuando interviene un ventilador o medio mecánico; este aire caliente es generado, por ejemplo en una caldera, y posteriormente conocido a través de ductos (ver apéndice E.1.).

**Sistemas de agua:** Calefacción donde el fluido que porta el calor es el agua. La instalación consta de medios para calentar el agua (ej. caldera), dispositivos emisores del calor (radiadores, convectores, paneles, serpentines), tuberías que unen el medio generador de calor a los dispositivos emisores y un depósito de expansión para contener el volumen de exceso de agua cuando ésta se calienta y se dilata. La circulación bien puede realizarse por gravedad o por bombeo (ver apéndice E.2.).

**Sistemas de vapor:** Calefacción que emplea vapor generado en una caldera, y que es conducido a través de tuberías hasta intercambiadores de calor (radiadores) que por medio de ventiladores se devuelve a la caldera el agua condensada resultante por la misma tubería en caso de ser un

<sup>1</sup> Enciclopedia británica

<sup>2</sup> McQuiston, et al. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Capítulo 1 Conceptos fundamentales.



sistema unitubular, no así en un sistema bitubular donde el vapor y el agua condensada recorren distintas tuberías (ver apéndice E.3.).

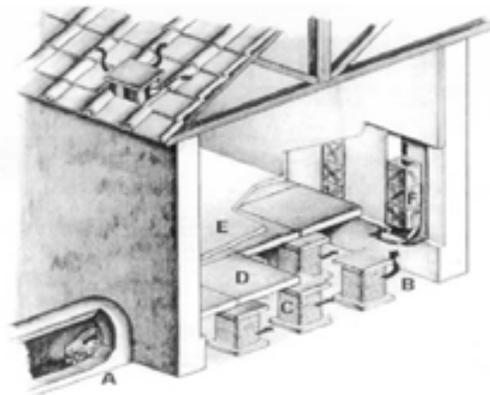
Sistemas de gas: Calefacción que se basa en el uso de una caldera que calienta agua mediante la combustión de gas natural haciéndola circular por los radiadores repartidos por todo el inmueble. (ver apéndice E.4.).

Sistemas eléctricos: Calefacción que emplea el método de conversión de la energía eléctrica en energía calorífica por resistencia a la libre circulación de la corriente eléctrica. Se logra transferir el calor de forma inmediata y simultánea a través de elementos caloríficos (radiadores infrarrojos, placas radiantes, radiadores, convectores) situados en paredes, ventanas, zócalos, techo y suelo. Esta categoría incluye el concepto de bomba de calor por utilizar suministro eléctrico para su funcionamiento. (ver apéndice E.5.).

Sistemas solares: Calefacción que capta la radiación solar con un colector de energía solar y utiliza un dispositivo de almacenamiento de la energía calorífica generada en el colector solar, con objeto de ser utilizada en horas de ausencia de incidencia solar (ver apéndice E.6.).

#### 1.4. RESEÑA HISTÓRICA

Los métodos antiguos para calentar un espacio se basaban en el fuego abierto, la chimenea, y la estufa. En Roma antigua un sistema de calefacción, llamado hypocausto, calentaba un edificio, pasando los gases calientes de un horno a través de pasos incluidos debajo de los pisos y detrás de las paredes previo a que fueran desalojados del edificio. A excepción de los antiguos romanos y chinos quienes desarrollaron un tipo de calefacción central, el resto de las culturas utilizaron métodos directos hasta el siglo XVII, como las chimeneas sin tiro.



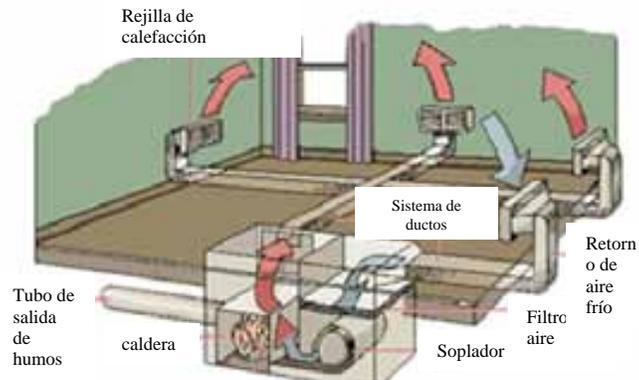
A: Horno B: Cámara de aire C: Columnas soportantes  
D: Placas de piso E: Acabado final F: Ducto de piedra

F.5. Diagrama en corte del sistema hipocausto romano.  
UK. 2007. Dibujado por David Dobson. Canterbury  
Archaeological Trust Ltd.  
<http://www.canterburytrust.co.uk/schools/gallery/gall09c.htm>

En el siglo siguiente comenzaron los primeros estudios científicos del calor que produjeron el desarrollo del termómetro que permitió medir el calor generado por combustión y otros procesos químicos, con estos avances se desarrolló en Francia lo que hoy conocemos como estufa. Basado en estos principios, Benjamín Franklin publicó un panfleto en 1774 describiendo su famosa Chimenea Pennsylvania que incluía un tiro para desalojar el humo y ocupaba al máximo el calor por radiación.

En el siglo XIX se incorporó la calefacción central como parte de los edificios y fue el arquitecto americano B.H. Latrobe quien realizó la primera instalación por principio de convección de aire, en los Estados Unidos, en el conocido edificio del Capitolio en 1806. Aunque en 1857 el edificio fue adaptado para una instalación de calefacción con agua, y a pesar de la modificación aún se reportaba mucha energía invertida en las máquinas de vapor que no llegaba hasta el usuario como parte de la calefacción. A finales del siglo XIX fueron conocidas las ventajas del gas

natural, pero las barreras para acceder a este combustible no fueron vencidas hasta terminada la Segunda Guerra Mundial cuando hubieron más avances en metalurgia y soldadura que permitieron crear masivas instalaciones de tubería cerca de los años sesenta. En 1973 la crisis energética provocó que se intensificaran e iniciaran los esfuerzos para el desarrollo de tecnologías con energía alterna, esfuerzos que derivaron entre muchos otros en el desarrollo de sistemas de calefacción solar.



F.6. Calefacción por aire. Enciclopedia Encarta. Microsoft Corporation 2007.

### 1.5.ANTECEDENTES

Para descubrir la importancia de captar el sol como una forma de calentar un espacio hay que remontarse a la Roma Antigua que a pesar de utilizar el hipocausto como la forma común de calefacción en las esferas de la sociedad privilegiada, no así los sectores sociales menos beneficiados que no podían acceder a esta tecnología que requería cerca de 150 kilos de madera por hora o más de 15 metros cúbicos de leña por día<sup>3</sup>, y conforme a la escasez de estos combustibles y a los costos que por consecuencia implicaban, se optó por recurrir a la arquitectura griega, que a partir de los inviernos de frío moderado en esa región se proyectaba para aprovechar los rayos del sol a base de comprender de que la altura de la incidencia solar variaba a lo largo del año, de aquí que clima tenga su raíz griega como inclinación.

Captar los rayos solares con vidrio es un método simple que fue comprendido por Plinio, quién denominó *heliocaminus* ("horno solar") a su habitación favorita que contemplaba huecos al sudoeste cubiertos con vidrio y que una vez atravesados por el rayo solar, el calor se acumulaba en los materiales del interior funcionando entonces como un colector solar. Lo que demuestra que previo a ser este fenómeno parte de la ciencia moderna, el conocimiento empírico permitió reconocer a esta técnica dentro de las características básicas de un espacio habitable como lo registrado en el Código del Emperador Justiniano en el siglo VI al citar: *Si un objeto está colocado en manera de ocultar el Sol a un heliocaminus, debe afirmarse que tal objeto crea sombra en un lugar donde la luz del Sol constituye una absoluta necesidad. Esto es así una violación del derecho del heliocaminus al sol.*



F.7. *Heliocaminus*, donde Plinio acostumbraba a tomar baños de sol. The Heliocaminus baths. Tivoli and surroundings. [http://www.tibursuperbum.it/eng/monument\\_i/villaadriana/Heliocaminus.htm](http://www.tibursuperbum.it/eng/monument_i/villaadriana/Heliocaminus.htm)



Calefacción solar por aire

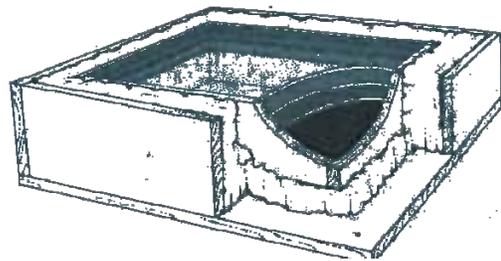
<sup>3</sup> Vázquez Espí, Mariano. Una brevísima historia de la Arquitectura Solar. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html> (ref. en web nov.17, 2008)



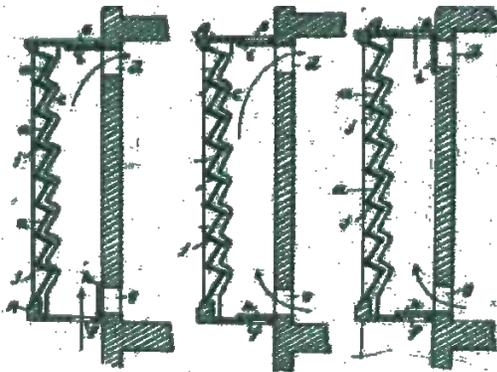
F.8. Cubiertas acristaladas alemanas. The history of solar energy. California Solar Center. [http://www.solarschoolhouse.org/history\\_passive.html](http://www.solarschoolhouse.org/history_passive.html)

Tales conocimientos dieron como resultado el uso de invernaderos adosados para calentar un espacio, técnica que se conservó hasta el siglo XVIII y extendió su uso hasta Inglaterra, donde a pesar de los pocos conocimientos de termodinámica difundidos, ya se contaba con dispositivos que permitían inclinar el vidrio conforme a la época del año. En Alemania también fue difundida ésta técnica, y se utilizaron cubiertas de vidrio en las fachas sur de los invernaderos para captura el calor del sol durante la temporada de invierno y mantener las plantas exóticas vivas, durante la noche se cubría la cubierta acristalada con lonas para prevenir que el calor capturado en el día escapara.

El momento importante sucede en 1767 cuando Horace de Saussure inspirado por la falta de interés de la comunidad científica por investigar sobre la temperatura máxima obtenible a través de un vidrio y dentro de un volumen cerrado, investigó en el campo de calefacción solar. Por tal motivo, se dispuso a determinar la efectividad de los captadores calóricos de vidrio para acumular energía del sol; su experimento consistió en contener 5 cajas de cristal de distinto tamaño una dentro de otra y exponer el objeto a sol,



F.9. Caja caliente de Saussure. Vazquez Espí, M. Una brevísima historia de la arquitectura solar. Perú, 1995. Instituto Juan de Herrera <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i8amvaz.htm>



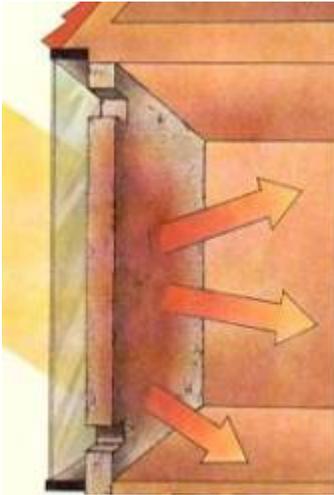
F.10. Calentador solar de Morse, 1881. Izquierda, posición invernal diurna; centro, posición invernal nocturna. Derecha, posición estival para ventilación forzada. Vazquez Espí, M. Una brevísima historia de la arquitectura solar. Perú, 1995. Instituto Juan de Herrera. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/famvaz/i8amvaz.htm>

obteniendo como resultado que la caja del centro registraba mayor temperatura ( $87^{\circ}$ ) que la del exterior. Para impedir la pérdida de calor, construyó una caja de pino con revestimiento interior de corcho negro y cerrada en la parte superior por tres láminas de vidrio separadas entre sí y que al exponerla al sol se alcanzaba una temperatura de  $118^{\circ}$ , objeto denominado *caja caliente*. Debido a que aún se perdía calor colocó la caja caliente dentro de otra caja abierta por arriba y rellena de lana que producía una separación entre ellas y funcionaba como aislante, de esta forma la temperatura alcanzó  $120^{\circ 4}$ . La caja caliente resultó ser el primer colector solar de aire.

En el siglo que prosiguió muy pocas aportaciones al respecto surgieron, a excepción del evento ocurrido en 1881, cuando en el Museo Peabody de Salem se exhibió el primer calentador solar de aire de Edward Morse. Aunque *Scientific American* lo calificaría de "ingenioso dispositivo para la aplicación del calor de los rayos solares a

<sup>4</sup> Vázquez Espí, Mariano. Una brevísima historia de la Arquitectura Solar. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html> (ref. en web nov.17, 2008)

la calefacción de nuestras casas... y sin embargo tan simple y autónomo que uno se pregunta cómo no ha sido usado siempre".

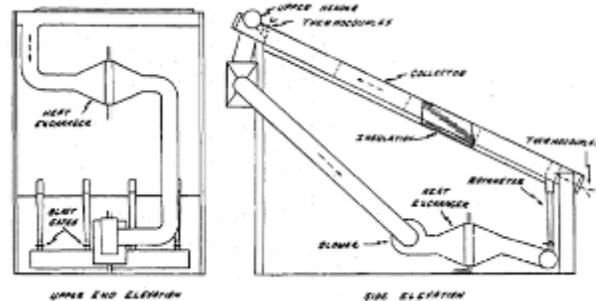


F.11. Esquema de corte transversal del muro trombe-michael. Arquitectura Bioambiental. <http://iteso.mx/~ar48766/forma.htm>

La idea de Morse, permanecería en el olvido durante medio siglo hasta que en 1956 Felix Trombe y Jaques Michael registraran la patente bajo un concepto muy similar bajo el nombre de *muro trombe-michael* capaz de captar por medio del efecto invernadero una gran cantidad de energía solar. Esta idea se basa en el efecto invernadero, cuando el sol calienta la columna de aire situada entre un muro de concreto pintado de negro y el cristal frente a este; se crea una corriente de aire convectiva por el diferencial de densidad entre el aire caliente generado y el aire de menor temperatura en el interior del inmueble, y debido a que los rayos solares no se limitan a calentar la columna de aire frente al muro, estos son absorbidos por el muro acumulando calorías durante el tiempo de incidencia solar, que después son irradiadas al interior para calefactar en el periodo de la noche. Las observaciones de Morse parecen estar aisladas de la información generada un siglo antes por Trombe-Michael, y de los experimentos realizados por Sausser dos siglos antes.

Parece confirmarse que en las tres situaciones, con resultados tan importantes y de fácil aplicación fueron producto de la simple observación en el mundo ordinario.

Bajo los conocimientos hasta el momento generados, George Löf en 1957 incluyó un sistema de calefacción solar por aire en su propia casa en Denver, Colorado; su instalación no solo benefició al investigador al menos durante 30 años desde su colocación, sino que permitió comprobar las ventajas de utilizar sistemas de aire contra sistemas de agua, ya que estos últimos tienen problemas de corrosión, congelamiento, tienen complejas instalaciones, necesitan continuo mantenimiento y presentan problemas al transferir el calor del agua al aire del interior del espacio que requiere tener calefacción.

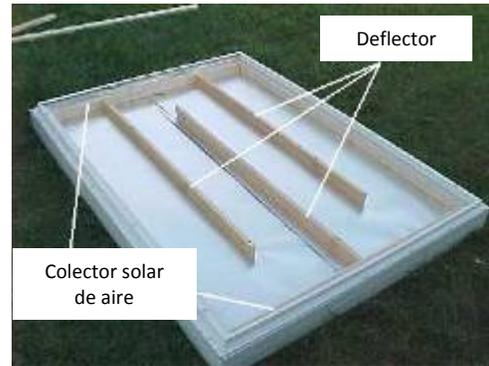


F.12. Diagrama esquemático de un colector solar creado por George Löf. Heating of air by solar energy. The Ohio Journal Science, September, 1953.

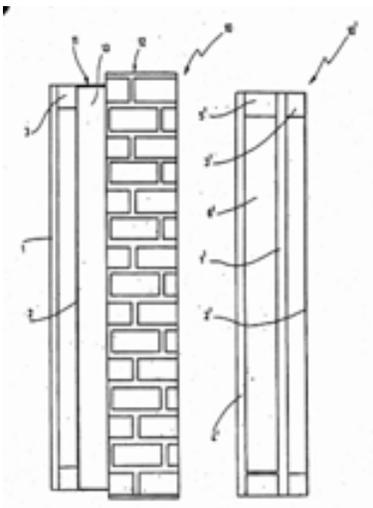
En 1974, se realizó un avance significativo en materia de colectores solares, ya que con la patente de Melvin Quick de un colector solar de aire modular (U.S. Pat 3, 996,918) por estar diseñado para ensamblarse a otro colector idéntico y trabajar de esa forma como un sistema, un colector solar no es un objeto de experimentación sino una forma más de calefacción solar. Tan sólo siete años más tarde, Sfeir discutió el uso de aletas fijadas al absorbedor del colector y su uso fue reconocido como efectivo porque incrementa el área de transferencia, sin embargo se carecían de pruebas para demostrar éste fenómeno. A causa de esto el grupo de Wijeysondera realizó experimentos al año siguiente, haciendo comparaciones de los resultados obtenidos entre distintas configuraciones de colector de aire, estudio en el cual quedó comprobado la ventaja de usar colectores con aletas. Partiendo de este punto Choudhury and Garg (1993) descubrieron que colocando obstáculos dentro de un colector de aire, se crea turbulencia en el



aire caliente, lo que resulta en un incremento de la transferencia de calor. De lo generado a partir de Sfeir, Ben Slama Romdhane en 2006 publicó un estudio titulado “The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer”<sup>5</sup>. Esta investigación comprende el estudio comparativo de varias técnicas que favorecen e incrementan la transferencia de calor entre el fluido caloportador (aire) y el absorbedor; con este estudio se logró demostrar que disponiendo de forma especial los deflectores<sup>6</sup> en el absorbedor, se puede obtener una eficiencia del 80% con un flujo de aire de 50 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> en el colector permitiendo lograr una temperatura de hasta 70°C.



F.13. Deflectores en un colector solar de aire.  
<http://www.mobilehomerepair.com/solarpan8.JPG>



F.14. Aislamiento térmico transparente de Schmidt y Christoph. Patentados.com <http://patentados.com/invento/aislamiento-termico-transparente.html>

El colector integrado al edificio o como un sistema completo de calefacción no tuvo avance durante 10 años hasta que Bonalberti, Palz y Vianello realizaron la primera conferencia registrada de “Coletores Solares en Arquitectura, refiriéndose a la integración de colectores térmico y fotovoltaicos en nuevas y viejas estructuras de edificios” en marzo de 1953 en la Ciudad de Venecia, Italia. En 1990, John Hollick patentó el colector de aire SOLARWALL®, que se instala en los muros formando parte de la fachada. En 1997 The American Solar Roofing Company patentó el solar roofing tile, que es un sistema de calefacción de aire para lograr una temperatura media, que se basa en una teja traslúcida instalada encima de cualquier techo con pendiente. En 1999, concebida la unidad colectora y absorbidora en el muro, dos inventores alemanes, Schmidt y Christoph, desarrollaron un dispositivo de aislamiento térmico transparente (10) para calentamiento solar de edificios, con una cristal (1) y un absorbedor (2) dispuesto a distancia por una unión de borde (3) con técnica de

vidrio aislante y por un espacio intermedio relleno con un gas noble (ver figura 14).

Muy pocos adelantos y estudios se han generado al respecto, muchos de ellos han tenido lugar en viviendas como parte de la arquitectura misma, resultado de la experiencia y del estudio de la trayectoria del sol, sin embargo, existe un campo extenso por explorar en esta materia con el objetivo de hacerlo parte de la tecnología común de la arquitectura al colector solar de aire. Cabe resaltar, que estos antecedentes tan sólo demuestran que captar el sol y calentar un espacio es cuestión de sentido común como así lo tuvieron griegos y romanos.

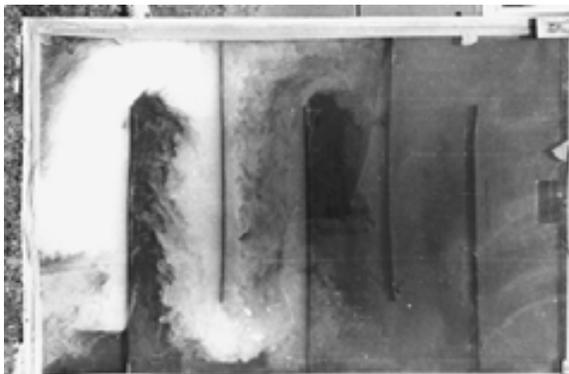
<sup>5</sup> “Los colectores solares de aire: Estudio comparativo de deflectores en beneficio de la transferencia de calor”

<sup>6</sup> Deflector: Elemento que crea turbulencia para incrementar el coeficiente de transferencia de calor al mantener constante el flujo de aire y por lo tanto incrementar también la eficiencia del colector, ya que tienen la particularidad de extender la trayectoria de la circulación del aire.

## 1.6. CALEFACCIÓN SOLAR POR AIRE

La energía solar térmica es la que aprovecha la radiación infrarroja del sol para generar calor. Por otro lado la transferencia de energía a un espacio, o al aire dentro de ese espacio, por medio de un diferencial de temperatura entre la fuente y el espacio o el aire contenido en éste se denomina calefacción<sup>7</sup>. De forma tal que la calefacción solar es aquella que *aprovecha la energía solar térmica para transferir calor al aire dentro de un espacio*.

En general, las calefacciones solares pueden proporcionar del 40% al 60% de las necesidades de calefacción. La eficiencia depende de las dimensiones del espacio, cantidad de calor que se generará con un sistema de apoyo, el sistema seleccionado, características climáticas y el fluido caloportador. Para transferir calor dentro de un espacio, el sistema de calefacción puede calentar diversos fluidos en su forma líquida o gaseosa. A causa de esto a la definición se añade la frase *siendo el fluido caloportador el aire mismo*.



F.15. Vista superior de un colector solar de aire donde se suministra un fluido caloportador (humo) y se hace pasar por deflectores transversales. Slama Romdhane. The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer. Solar Energy 81 (2007) 139–149

Un sistema de calefacción solar por aire para la SIE<sup>8</sup>, es aquel capaz de suministrar el total o gran parte de la demanda del edificio sirviéndose de colectores de aire como elemento central del sistema. Finalmente, el colector surge como elemento captador y convertidor de la energía solar en energía térmica, por tal motivo un sistema de calefacción solar por aire (SCSA) es:

*aquella que aprovecha la energía solar térmica por medio de un colector realizando una conversión fototérmica y transfiriendo calor al aire dentro de un espacio siendo el fluido caloportador el aire mismo.*

Cabe mencionar que la definición antes formulada no incluye la forma en que se transfiere el calor dentro del espacio a calefactar, por que bien puede tratarse de una clasificación por medios de transferencia físicos (convección, conducción o radiación), de una clasificación por medios de circulación (natural o termosifón; artificial o forzada) o de una clasificación por tipo de sistema (pasivo, activo o híbrido). Debido a que las tres clasificaciones caen bajo el mismo esquema de transferencia de calor y recurrir a un término a otro podría resultar en reducción de posibilidades para incluir numerosas técnicas para calefactar el aire con la energía solar, por el solo hecho de utilizar el término equivocado. Esta situación a conducido a dedicar un apartado para describir el fluido caloportador y la diferencia entre sistemas activos y pasivos.

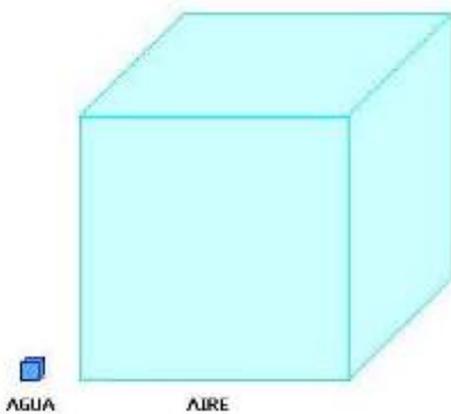
<sup>7</sup> McQuiston, et al. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. México, 2007.P.p.22

<sup>8</sup> Solar Energy Ireland. *Solar air heating systems*. (ref. 19 ago 2007). [www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)



## 1.7.FLUIDO CALOPORTADOR

La calefacción solar puede realizarse previo a el calentamiento del aire, por transferencia de calor a distintos fluidos, los más populares son el agua y el aire que para efectos de calefacción se les denomina fluidos caloportadores.



F.16. Esquema comparativo del volumen de agua y aire necesario para transportar una misma cantidad de energía calorífica. Sitio solar.

El calor específico del agua es de 1 cal/gr contra 0.24 cal/gr del aire, dicho de otro modo 1 m<sup>3</sup> de aire equivale a 0.36 Wh/°C mientras que 1 m<sup>3</sup> de agua es de 1.160 Wh/°C<sup>9</sup>; es decir, el agua puede transportar por cada unidad de agua poco más de un 400% más que el aire. La densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup> contra 1,225 kg /m<sup>3</sup> (valor para aire seco a nivel del mar a temperatura de 15 grados a presión atmosférica estándar) y el coeficiente de transferencia de calor de una superficie de aire es muy inferior a un líquido, lo que implica que debido a la mayor densidad del agua se requieren aproximadamente 3 400 veces más volumen de aire que de agua para transportar la misma cantidad de calor.

En contraste con las aparentes desventajas del aire respecto al agua, el aire está exento del congelamiento por temperaturas bajas extremas y a la ebullición en temperaturas altas extremas, en cambio el agua requiere dentro de un sistema de dispositivos que eviten estos fenómenos, lo que incrementa su complejidad y costo. Debido a que el aire es inmune al exceso de calor no plantea problemas al llegar la época de calor, ya que simplemente se deja abierto el sistema hacia el exterior.

El aire frente al uso del agua como fluido caloportador, no tiene fugas porque trabaja en circuito compartido con la atmósfera circundante a diferencia del agua que necesita un sistema exclusivo. A causa de estas ventajas, una instalación de calefacción por aire se convierte en algo sencillo de instalar lo que se traduce en bajos costos.

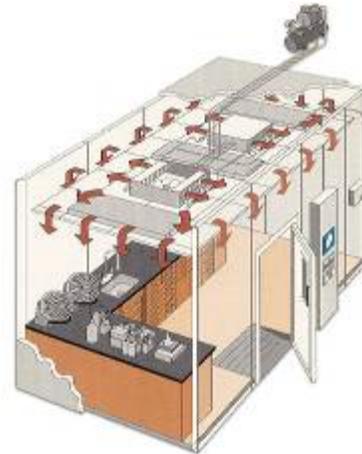
Para justificar una instalación de calefacción solar de aire en un clima con al menos dos variaciones de clima por año, solo es requisito la necesidad de calefactar en la época más fría. En cambio, para justificar una instalación donde el fluido caloportador sea el agua, se requiere combinar con suministro de agua caliente sanitaria o climatización de una alberca para acreditar el costo y uso de este tipo de sistemas. Además, al extender la finalidad del uso del agua caliente se hace complejo y costoso adecuarlo a una construcción existente a diferencia de sistemas de aire para calefactar.

<sup>9</sup> CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). Fascículo 6: Sol y arquitectura. Instalación de calentadores de aire. San Sebastián, España.

## 1.8. SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS

En el glosario de la Comisión de Energía de California (California Energy Commission), se clasifica a la energía solar pasiva como el uso del sol para ayudar a satisfacer las necesidades energéticas de un edificio soportado en diseño arquitectónico y materiales. En cambio la energía solar activa usa la radiación solar para proveer calefacción por medio de equipamiento especial (sin especificar las características del mismo).

La enciclopedia británica clasifica la calefacción solar bajo el rubro de activo o pasivo como la mayoría de los actuales textos que versan sobre el mismo tema. Define como calefacción solar pasiva aquella que depende del diseño arquitectónico que abarca los factores de emplazamiento, orientación, materiales, distribución de espacios, aislamiento térmico y métodos constructivo; y como calefacción solar activa, la que se vale de medios mecánicos para coleccionar, almacenar y distribuir la energía solar.



F.17. Suministro de calefacción con sistema activo. Warm rooms. Harris Environmental Systems. [http://www.harris-env.com/warm\\_rooms.htm](http://www.harris-env.com/warm_rooms.htm)

El Arizona Solar Center define a la energía solar pasiva, como aquella que utiliza elementos del sitio y del edificio así como procesos naturales para conseguir una tarea específica (confort, calefacción, movimiento del aire, etc.) sin incluir de forma mínima, equipos mecánicos y/o eléctricos. Y conceptualiza como energía solar activa como aquella que utiliza equipamiento mecánico o eléctrico.<sup>10</sup>

Por último, Arquisolar, denomina como Pasivo a los sistemas de aprovechamiento solar en los cuales no intervienen elementos que consuman energía auxiliar. Y Activo a los sistemas que requieren de elementos auxiliares consumidores de energía para distribuir la energía térmica acumulada en el ambiente al cual se vinculan.<sup>11</sup>

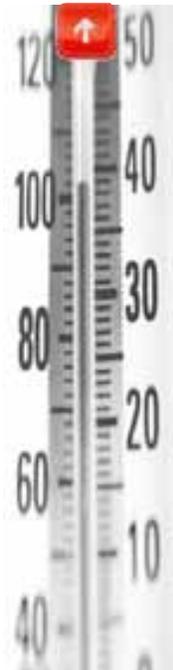
En esencia, la discrepancia fundamental entre ambos sistemas radica en el uso de medios mecánicos y/o eléctricos, pero se justifica el uso de los mismos para el caso de sistemas de calefacción solar pasiva, si estos no consumen energía auxiliar cuando llegan a un medio mecánico y/o eléctrico para mover aire.

El solo hecho de incluir algún medio mecánico o eléctrico aunque no consuma energía auxiliar, convierte al sistema en un sistema *híbrido*. El uso del concepto pasivo o activo, no incluye la forma en que circula el fluido, que bien puede hacerse de forma natural o artificial, y que muchos atribuyen cada término a pasivo y activo respectivamente; para diferenciar los términos se hace una descripción al respecto en el siguiente apartado.

<sup>10</sup> Passive solar uses building and site elements and natural processes to accomplish a given task (comfort, water heating, air movement, etc.) with no, or minimal, mechanical and electrical equipment. Active solar utilizes mechanical and electrical equipment. Arizona Solar Center. <http://www.azsolarcenter.com/faq.html>

<sup>11</sup> Diseño de sistemas de aprovechamiento solar. Arquisolar.

<http://www.arquisolar.com.ar/htm/paginas/sistemas.htm> (ref.en web: nov. 17, 2007)

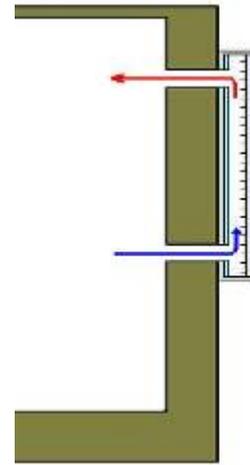


## 1.9. CIRCULACIÓN DE FLUIDO CALOPORTADOR

En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura<sup>12</sup> para que la transferencia térmica sea eficaz, debemos asegurar la circulación del fluido. Esto se puede conseguir de dos formas diferentes, por termosifón (circulación natural) y mediante un ventilador (circulación forzada).

Circulación natural o por termosifón: esta forma de movimiento del aire se vale de la gravedad y la diferencia de temperaturas entre el aire frío y el aire caliente, esto es, el aire calentado por el sol disminuye su densidad y por tanto su peso, por lo que el mayor peso del aire frío desplaza al aire caliente (menos pesado), obligándolo a ascender por los ductos, espacio o colector, creando de esta forma el movimiento del aire del colector al espacio a calefactar.

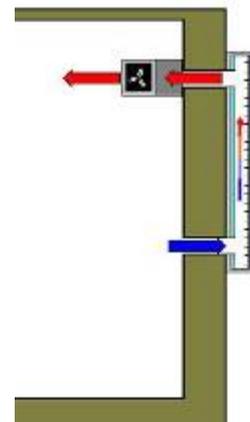
Esta circulación se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el espacio a calefactar. El colector debe situarse en vertical sobre la superficie externa del muro. De esa manera el aire calentado en el colector asciende y entra al edificio y el espacio dejado por este es remplazado por aire frío proveniente del edificio. Para poder realizar este diseño, es preciso contar con una fachada de orientación al ecuador sobre la que colocar los colectores, donde no se proyecten sombras.



F.18. Esquema de muro transversal donde se muestra un ejemplo de un colector adosado a fachada con circulación natural. Sitiosolar.com

Circulación forzada: Cuando no es posible utilizar circulación natural por la distancia entre colector y espacio a calefactar o las condiciones propias del sitio, se recurre a utilizar un ventilador (aerocirculador). A estos sistemas se les agrega controladores (termómetros y termostatos), para que cuando el colector llegue a una determinada temperatura preestablecida el ventilador se encienda cuando la temperatura del ambiente interior es baja y no cumple con el nivel de confort.

Generalmente los ventiladores de un SCSA para vivienda son de baja potencia, pudiendo funcionar con paneles solares eléctricos o aerogeneradores, lo que evita un suministro energético auxiliar. Este hecho provoca la diferencia con los sistemas solares pasivos y activos, puesto que la forma en que se circula el aire no se encuentra relacionada con el suministro energético.



F.19. Esquema de muro transversal donde se muestra un ejemplo de un colector adosado a fachada con circulación forzada empleando un aerocirculador. Sitiosolar.com

<sup>12</sup> Sistema de calefacción solar que alcanza a calentar el fluido hasta 80°C suficiente para las necesidades de calefacción.



## 1.10. COMPONENTES DE UN S.C.S.A.

Colector solar de aire: Dispositivo que transforma la energía radiante en energía térmica.

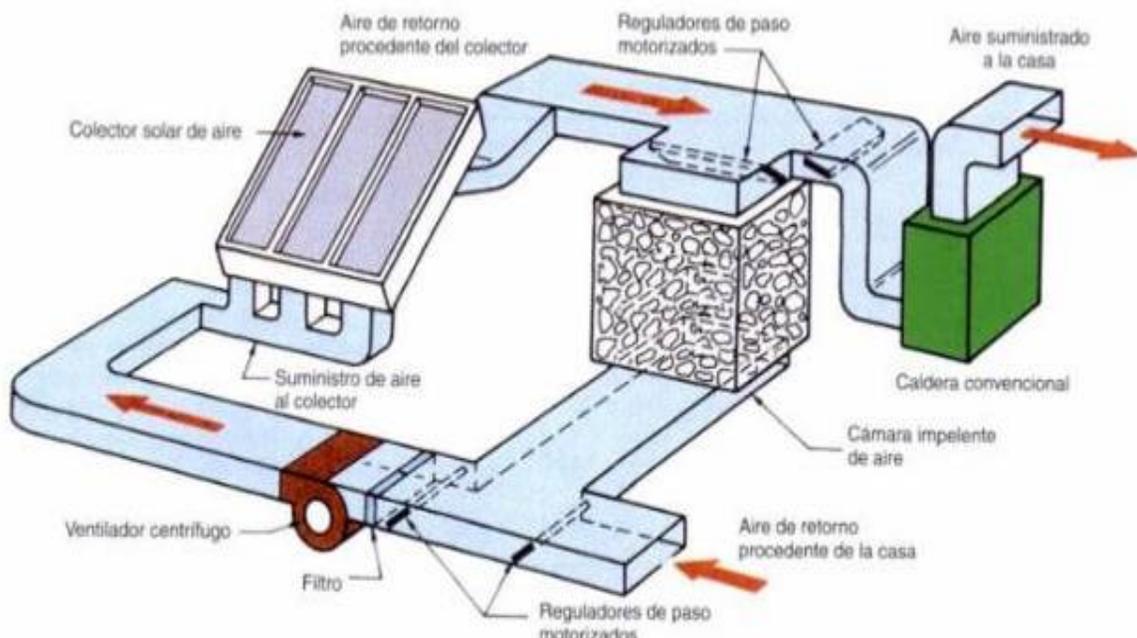
Acumulador: Dada la naturaleza de la energía solar que se recibe en determinados momentos, no siempre uniforme y rara vez coincidente con la demanda de energía, es necesario incluir un medio de acumulación que almacena la energía térmica para los momentos en que no hay suministro de energía solar.

Ductos: Debido a que mantienen temperaturas superiores al ambiente durante el funcionamiento, pierden calor por conducción a través de las uniones del sistema a tierra y por convección y radiación al ambiente, lo que obligan a aislar la instalación con el fin de minimizar las pérdidas de calor.

Aerocirculador: Los aerocirculadores son los mismos que los empleados en ventilación, y su función se reduce a forzar el movimiento del aire hasta la zona donde se desea calefactar.

Equipos de energía auxiliar: Equipo diseñado y calculado para abastecer la demanda completa de aire caliente y, en ese sentido, debe considerarse como un sistema convencional de calefacción. Su acoplamiento a una instalación solar exige la toma en consideración de los siguientes aspectos: la temperatura de salida del acumulador solar puede variar en un amplio margen, el sistema de calentamiento auxiliar no debe interferir el proceso de aprovechamiento de la radiación solar y debe optimizarse el acoplamiento para conseguir el máximo rendimiento del conjunto.

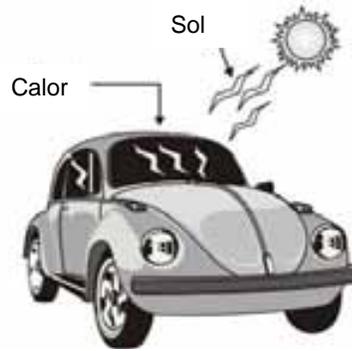
Equipos de regulación y control: En instalaciones con circulación forzada, se utiliza el control diferencial de temperaturas para activar ventiladores en función de las temperaturas de salida de colectores y del acumulador. En ningún caso estos equipos se pondrán en marcha con diferencias de temperaturas menores de 2°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C. El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control será, como mínimo, entre -10 y 50°C.



## 2. COLECCIÓN

### 2.1. DEFINICIÓN

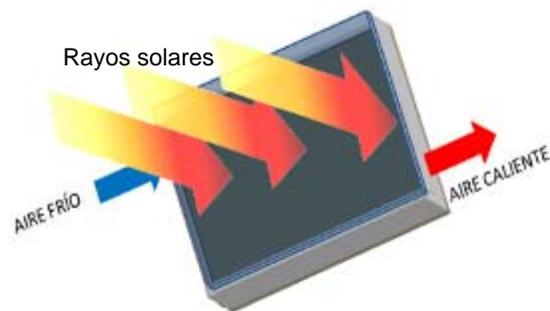
Para cumplir su función la mayoría de los colectores incluyen una cubierta transparente que permita el paso de la energía solar, una superficie captadora al interior, material aislante que impida pérdidas de calor y respiraderos o ductos que distribuyan el aire caliente del interior del colector hasta el punto donde éste se requiera. Al ser una aplicación poco difundida hasta ahora, al menos en México, no existen pruebas oficiales que midan el rendimiento de estos colectores, existiendo diversas concepciones en cuanto a su rendimiento.



F.21. Principio de la colección solar. En un día soleado un auto cerrado se convierte en un colector solar, cuando la energía solar atraviesa el cristal y es absorbida por los acabados interiores convirtiéndolo en energía térmica.

Aunque Ben Slama Romdhane comprobó que puede alcanzarse un eficiencia del 80% y una temperatura entre 80° y 140°F<sup>13</sup>. El rendimiento está dado por la relación superficie de contacto, caudal suministrado de aire y velocidad del aire al interior del colector; mientras que la cantidad de área colectora está determinado por el volumen de aire a calefactar y la temperatura deseada. Hasta que no existan unas pruebas específicas para los colectores de aire de igual modo de los que existen para los colectores de agua (NMX-ES-001-NORMEX-2005<sup>14</sup>), no se podrá realizar una correcta comparación entre diversos modelos.

En la norma mexicana PROY-NMX-ES-002-NORMEX-2006, se define al colector para el calentamiento de aire, como: Colector solar que utiliza aire como fluido de transferencia de calor. En tanto que DOE, define en la guía para el consumidor EERE<sup>15</sup> al colector solar como el *dispositivo que calienta aire valiéndose de la energía solar*. Este fenómeno sucede porque el colector funciona como un intercambiador de energía, que transforma la energía radiante en otra forma de energía compatible con la demanda, esta conversión es denominada fototérmica<sup>16</sup>.



F.22. Esquema de colector solar en forma de dispositivo.

Por lo tanto, un colector solar de aire es un *dispositivo a modo de intercambiador que mediante conversión fototérmica genera aire caliente*.

<sup>13</sup> KORNHER, et. al. Solar air heating systems

<sup>14</sup> Norma para equipos de Calentadores Solares, Miscelánea fiscal, NADF-008-AMBT-2005, Dictamen LAFRE, Ley Bioenergéticos y más

<sup>15</sup> Energy Efficiency and Renewable Energy

<sup>16</sup> GARRETA, Fabian. Aplicaciones en arquitectura de la energía solar térmica

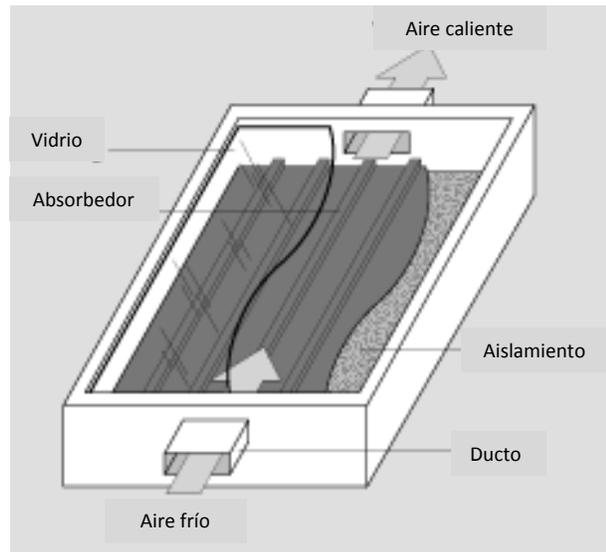
## 2.2. FUNCIONAMIENTO

Ya que un colector solar de aire, es un dispositivo a modo de intercambiador que mediante conversión fototérmica genera aire caliente como fin último, su proceso básicamente es el mismo a pesar de que hay factores que incrementan la eficiencia del colector.

Al exponer un colector de aire al sol, los rayos solares incidentes atraviesan su capa más exterior llamada *cubierta traslúcida*; este fenómeno sucede porque el cristal es transparente al espectro de la radiación solar tal y como lo es para nuestra vista. Una vez al interior, la energía solar es captada por un material que por sus propiedades físicas de absorción logra coleccionar la energía solar y que por sus propiedades de emisión logra desprender energía calorífica en forma de radiación infrarroja, y cede calor por conducción al aire que por ahí se hace pasar (ver apéndice B.1.), es llamado *absorbedor*. La energía calorífica que el absorbedor emite se presenta como radiación infrarroja, misma que no puede atravesar el cristal debido a que se encuentra en un rango del espectro electromagnético en el que el cristal se convierte en opaco y rechaza este tipo de radiación.

Al interior del colector se encuentra aire como fluido que gradualmente incrementa su temperatura, ya que el absorbedor progresivamente almacena la energía del sol y luego la convierte a energía térmica, misma que puede tener pérdidas debido a los fenómenos de conducción, convección y radiación (ver apéndice A.3.) y que bien pueden ser controladas en parte por el *aislante térmico* que se encuentra entorno al absorbedor. Si se hace circular el aire por el colector, éste recibirá el calor del absorbedor por la transferencia de calor por efecto de conducción, y aunque teóricamente la temperatura de la placa disminuiría y la temperatura del aire aumentaría; no es así, en el supuesto de que se mantenga una circulación de aire fluida y constante, hasta alcanzar un punto de equilibrio dinámico de la temperatura que aunque es inferior al punto de equilibrio estático de la temperatura, lo cual es suficiente para cumplir con los requerimientos de una instalación solar térmica de baja temperatura.

Este fenómeno sucede porque una corriente de aire es introducida de forma natural o forzada al colector que bien puede estar contenido en una *carcasa* y tener un aislante térmico, y es conducida al absorbedor que le transfiere el calor que convirtió fototérmicamente gracias al efecto del sol. El aire caliente que se obtiene es conducido hasta el sitio donde se requiere calefactar utilizando sistemas pasivos o activos, y circulación natural o forzada; proceso al cual se le conoce como calefacción solar por aire.



F.23. Colector solar de aire, mostrando ductos de distribución. Solar Energy Program. U.S. department of Energy.



### 2.3. CUBIERTA TRANSPARENTE

En caso de utilizarse, es la encargada de producir el efecto invernadero<sup>17</sup>, reducir las pérdidas por convección y asegurar la estanqueidad del colector al agua y al aire. Se puede usar una doble cubierta o aumentar el espesor de la cubierta transparente para tratar de minimizar las pérdidas por convección, pero estas soluciones aumentan las pérdidas por absorción del flujo solar incidente, además de encarecer el panel. En general se puede decir que la doble cubierta es tanto más adecuada, cuanto más baja sea la temperatura exterior y más fuerte sea el viento.

VIDRIO: El vidrio es un material permanente y no se deteriora por los elementos atmosféricos, pero es pesado y frágil y necesita grandes estructuras para sustentarse. El vidrio es transparente a la luz solar excepto al rango ultravioleta, y es opaco al rango infrarrojo de gran longitud onda como el que se emite de la placa absorbidora, actuando como una trampa de calor eficaz cuando se emplea como cubierta. Existen numerosas variedades de vidrio que se distinguen por su composición química, sus características mecánicas y ópticas, etc. Se debe elegir los vidrios recocidos o templados, ya que en ellos se mejoran sus propiedades mecánicas sin alterar a las ópticas.

Las características de la cubierta en cuanto a las propiedades del cristal son:

- Alto coeficiente de transmisión de la radiación solar, en la banda de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ , el cual debe conservarse a lo largo de los años. La transmitancia es el porcentaje de luz que pasará a través del cristal, valor que está conformado a partir de la percepción del ojo humano para percibir las ondas de luz. Los cristales con alta transmitancia proveen de suficiente luz natural sin alteraciones, sin embargo provocan deslumbramientos; los cristales de baja transmitancia evitan los problemas de deslumbramientos pero crean problemas de interiores sombríos bajo condiciones climáticas poco favorables o vistas reducidas. "Un vidrio de alta calidad, absolutamente transparente, puede absorber el 3 ó 4 % de la radiación solar que lo atraviesa; sin embargo, si al examinar el borde, éste aparece de color verde (debido a la absorción de la luz por los compuestos de hierro en el cristal) la absorción puede ser de hasta 6%. La absorción depende del espesor del vidrio, y para conseguir alta transmitancia y bajo costo, el vidrio debe ser tan delgado como la resistencia mecánica lo permita"<sup>18</sup>. Por lo tanto, un vidrio incoloro es mejor para la colección de energía solar.

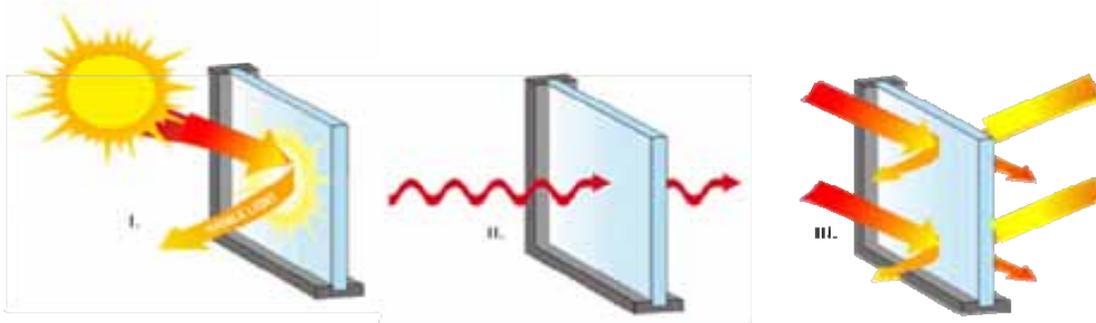
- Bajo coeficiente de conductividad térmica, que dificulte el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior, minimizando así las pérdidas. El Valor U ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,  $\text{Btu}/\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ ) es un valor obtenido de la transferencia de calor a través de un material debido a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. El valor U es una tasa de flujo de calor, por lo que números bajos indican mayor eficiencia o un mejor aislamiento. Cabe mencionar que los valores del centro del cristal son siempre más bajos que el resto del cristal ya que la estructura y juntas permiten pérdidas de calor por conducción.

-Bajo coeficiente de dilatación, pues existe riesgo de rotura o deformación, cuando la cara inferior está más caliente por el efecto invernadero que ocurre al interior del colector.

---

<sup>17</sup> El efecto invernadero logrado por la cubierta consiste en que una parte de la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora es reflejada hacia la cubierta transparente, con una longitud de onda para la cual ésta es opaca, con lo que se consigue retener la radiación en el interior.

<sup>18</sup> DANIELS, Farrington. Uso directo de la energía solar. Cap. 4: Colectores de radiación solar. Londres, 1964.



F.24. Proceso de transferencia de calor en un vidrio. I. Energía solar incidente y reflejada. II. Calor transmitido medido como valor U. III. Energía térmica interna. APEX. Glosario. <http://sa.bekaertfilms.com/Assets/Images/Glossary/Reflectance.gif>

- Bajo coeficiente de ganancia por calor del sol (SHGC<sup>19</sup>) o coeficiente de sombreado (SC<sup>20</sup>), son indicadores del total de calor obtenido por medio del sol. SHGC es la proporción entre el calor solar transmitido y la energía solar incidente, los bajos valores indican poca ganancia solar y los valores siempre están comprendidos entre 0 y 1. El SC en cambio, es la ganancia específica de un cristal comparado con un punto de referencia (cristal claro de 3mm) bajo condiciones idénticas. Estos valores son comúnmente usados para cálculos de cargas de aire acondicionado, la conversión entre ambos es:  $SC = 1.5 \times SHGC$ .

Tipo de cristal	Espesor	Transmitancia (%)	Valor-U	SC	SHGC	Factor eficacia
Cristal simple claro (Standard-clear)	0.25	89	1.09	0.94	0.81	0.95
Cristal doble con aislamiento (standard-clear)	0.25	79	0.48	0.82	0.70	0.96
Cristal triple con aislamiento (Standard-clear)	0.125	74	0.36	0.78	0.67	0.95
Cristal doble low-e (LOF clear low-e)	0.125	75	0.33	0.82	0.71	0.91
Cristal doble low-e c/gas argon (PPG Sungate 100 clear)	0.25	73	0.26	0.66	0.57	1.11
Cristal low-e alta eficiencia (Solarscreen 2000 VE-1-2M)	0.25	70	0.29	0.43	0.37	1.63

Tabla 1. Características de cristal.

- Alto coeficiente de reflexión, para la longitud de onda larga de la radiación emitida por la placa captadora, a fin de que ésta retorne a la placa. La reflectancia indica que grado del vidrio parece un espejo en ambas caras del cristal, esto es, el porcentaje de luz del cristal que es rechazado. Todos los vidrios lisos tienen algo de reflectancia, pero diversos tratamientos como las películas de apariencia metálica incrementan la reflectancia, y una alta reflectancia ofrece una baja transmitancia. Un tratamiento antirreflectante sobre la superficie exterior para disminuir las pérdidas por reflexión de los rayos solares incidentes consiste en depositar una delgada capa transparente de  $\frac{1}{4}$  de la longitud de onda de la luz del sol en cada lado del vidrio para producir interferencia; de ésta manera se puede reducir las pérdidas de calor usando más láminas sin incrementar la reflexión, sin embargo los costos se incrementan. Por otro lado un tratamiento sobre la superficie interior para que refleje las radiaciones de gran longitud de onda y no impida el paso de la radiación de corta longitud, es adecuado.

<sup>19</sup> Solar Heat Gain Coefficient

<sup>20</sup> Shading Coefficient



Calificación solar por aire

**PLÁSTICOS:** El plástico es transparente y se presenta bajo la forma de películas flexibles de algunas décimas de milímetros de espesor, o bajo la forma de placa rígida de algunos milímetros (0.006 mm a 0.24 mm). Aunque es barato y se transporta fácilmente, sufre deterioro físico e inestabilidad química bajo la acción de los elementos exteriores, por lo que hace que este material se convierta en un inconveniente para su utilización. Sin embargo, se han fabricado ciertos materiales que tienen propiedades más resistentes, tal es el caso del Mylar W fabricado por Duopont que es un poliéster resistente a meteoros con un revestimiento absorbente de rayos ultravioleta, con una vida promedio de 3 años. En cuanto a fluoruro de polivinilo se ha desarrollado el Aclar fabricado por Allied Chemical Co., con muy buena resistencia a la intemperie y el Tedlar que tiene un promedio de vida de 5 años, material que se ha estudiado y comprobado que es tan bueno como el vidrio para colectores solares<sup>21</sup>. El teflón de fluorocarbono por su parte tiene un promedio de vida de 20 años. Algunos de los plásticos más corrientes como el polietileno, los celulósicos, acetatos, el cloruro de polivinilo y el poliestireno, tienen una vida muy corta a la intemperie<sup>22</sup>.

La corta vida a la intemperie para los plásticos se debe sobretodo a la acción fotoquímica de la luz ultravioleta, humedad, temperatura, movimientos, tensiones y vibraciones continuas debidas al viento. Las características principales de los plásticos adecuados para un colector solar son: baja densidad, baja conductividad térmica, coeficiente de dilatación lineal importante, resistencia a temperaturas elevadas, resistencia a la formación de una película acuosa, facilidad de la limpieza del polvo, influencia de la temperatura en su envejecimiento, resistencia a la pérdida de transparencia causada por acción del sol y alta transmitancia de la radiación solar que depende del índice de refracción del material y de las reflexiones de los dioptrios aire-plástico (DANIELS, 1964). La absorción dentro del material es menor que en el vidrio porque las películas de plástico son mucho más delgadas que las de vidrio.

	<b>Mylar W</b>	<b>Tedlar 40</b>	<b>Polietileno</b>
Espesor (mm)	0.125	0.010	0.020
Densidad g/cc	1.39	1.38	0.91
Transmitancia (% con ángulo de incidencia 45°)	- 90	+ 90	
Índice de refracción	1.64	1.45	1.5
Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> a 25°C)	1680	560	140
Elongación (% 25°C)	100	250	500
Tensión de rotura (g/mil 25°C)	33	180	300
Coeficiente de dilatación lineal	25 x 10 <sup>-6</sup>	24x10 <sup>-6</sup>	300 x 10 <sup>-6</sup>

Tabla 2. Características de los plásticos.

#### **2.4. AISLAMIENTO TÉRMICO**

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por medio de un aislamiento térmico (ver apéndice A.5.) para evitar las pérdidas de calor térmico hacia el exterior. Las características de estos aislantes han de ser:

- Resistencia a altas temperaturas sin deterioro, lo que muchas veces se consigue colocando entre la placa y el aislante una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.

<sup>21</sup> WHILLIER, A. Plastic covers for solar collectors. Solar Energy, 7: P.p. 148-151.

<sup>22</sup> DANIELS, Farrington. Uso directo de la energía solar. Cap. 4: Colectores de radiación solar. Londres, 1964

- Poco desprendimiento de vapores tóxicos al descomponerse por el calor.
- No degradación por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- Alta resistencia a la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

Al referirnos a la propiedad aislante de un material, el término utilizado para la resistencia térmica en cuestión de transferencia de calor, es en el valor R en el sistema internacional es representado por la unidad  $K \cdot m^2/W$ , aunque también  $R = ft^2 \cdot ^\circ F \cdot h/Btu$ . El valor R es calculado en base a la conductividad térmica (k) y al espesor de los materiales (t). La fórmula es:  $R = t/k$ . La comparación del valor R en cuestión de espesor de materiales es empleado cuando existe una transferencia de calor convectiva y conductiva y no una transferencia de calor por radiación (ver apéndice A.3 y A.5). A continuación se presenta una tabla con los valores R para diferentes materiales aislantes presentados por Colorado Energy for the Colorado Energy Professional<sup>23</sup>:

Material aislante	Valor R
Fibra de vidrio en colchoneta	3.14
Lana de roca en colchoneta	3.14
Celulosa espreada	3.13
Vermiculita	2.13
Fibra de vidrio rígida (> 4lb/ft3)	4.00
Poliestireno expandido en placa	4.00
Poliestireno extruido	5.00
Poliuretano espreado	6.25
Polisocianurano con recubrimiento de metálico	7.20

Tabla 3. Tabla de valores R de materiales aislantes

A medida que el aislamiento ofrezca una barrera más eficaz que disminuya las fugas de calor y los puentes térmicos, más económico será el mantenimiento y se reducirá el consumo energético en la instalación<sup>24</sup>.

## 2.5.CARCASA

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio, por medio de los soportes. Debe cumplir los siguientes requisitos:

- Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad y resistencia contra la presión del viento.
- Alta resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir; y química para soportar la corrosión.
- Resistencia a la intemperie. A los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.
- Aireación del interior del colector para evitar la condensación del agua. Se realiza por medio de dos técnicas: Al vacío en el interior del colector cuando éste está frío, para que la carcasa no

<sup>23</sup> Coloradoenergy.com. R-value table. <http://www.coloradoenergy.org/procorner/stuff/r-values.htm> (ref. en web: nov.17, 2008)

<sup>24</sup> BLESÁ, Ramón. Conocimientos Fundamentales sobre climatización. Ed. CEAC. P.p.149



esté sometida a una presión muy alta cuando el aire en su interior se caliente o elaborar unos orificios en la carcasa para permitir la aireación del colector, así como la evacuación de la condensación, estos orificios se localizan en la parte posterior para evitar la entrada del agua de lluvia y la pérdida de aire caliente del interior del colector.

- Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua hielo o nieve en el exterior del colector.
- Facilitar el desmontaje de la cubierta para poder tener fácil acceso a la placa captadora.

## 2.6. PLACA ABSORBEDORA

Tiene por misión realizar la conversión fototérmica al absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido caloportador. La cara de la placa captadora que se expone al sol ha de estar protegida de los rayos solares por medio de:

- Pintura de color negro u oscuro que absorbe la radiación solar. Presenta el inconveniente de tener un coeficiente de emisión sensiblemente igual al de absorción, por lo que no es recomendable para altas temperaturas.
- Superficies selectivas: Superficie con alta absorción en la banda de emisión solar y una baja emitancia en el intervalo de emisión de un cuerpo negro; es decir una alta relación  $\alpha/\epsilon$ . Esta relación proviene de un cuerpo que absorbe energía solar y emite energía radiante característica de su temperatura, la temperatura final de equilibrio final (ver apéndice A.2.) del cuerpo es directamente proporcional a la relación  $\alpha/\epsilon$ , donde  $\alpha$  es absortancia y  $\epsilon$  emitancia<sup>25</sup>. No existen materiales simples que tengan esta propiedad, por lo que ésta se consigue por medio de superposición de capas o tratamientos especiales de la superficie.

Características de la placa captadora:

- Tratamientos de la superficie: Las pinturas son más económicas que los tratamientos selectivos pero se estropean antes.
- Corrosión interna: No se debe mezclar el cobre y el acero, para evitar la corrosión de este último.
- Emitancia: Se refiere a la habilidad de un material de emitir energía radiante. Todos los materiales tienen un valor que determina su emisividad, valor que se encuentra en un rango entre cero y uno. El valor mas bajo de emitancia de un material, determina el porcentaje mas bajo de flujo de calor radiado de su superficie. El aluminio posee uno de los índices de emisividad más bajos, lo cual explica su uso en aislamientos reflectivos y barreras radiantes.

MATERIAL	EMITANCIA	MATERIAL	EMITANCIA
Asfalto	0.94	Mármol	0.93
Aluminio	0.03	Pintura: Laca Blanca	0.80
Ladrillo	0.93	Pintura: Esmalte Blanco	0.91
Concreto	0.89	Pintura: Laca Negra	0.80
Vidrio	0.95	Pintura: Esmalte Negro	0.91
Fibra de Vidrio	0.85	Papel	0.92
Yeso	0.91	Plata	0.02
Acero	0.12	Madera	0.90

Tabla 4. Valores de emitancia de materiales absorbentes

<sup>25</sup> Almanza Salgado, Rafael. Ingeniería de la Energía Solar.

- Inercia térmica de la placa captadora: Depende del volumen de fluido que pueda contener, por lo que interesa reducirlo al mínimo para mejorar el funcionamiento del panel.
- Homogeneidad de la circulación: Con el fin de que el fluido caloportador que circula por la placa tenga un reparto de temperaturas equilibrado, el diseño del circuito del fluido es de suma importancia para el rendimiento del panel.
- Transmisión de calor: depender de la conductividad de la placa; la separación, ubicación y espesor de deflectores; el rendimiento y régimen del fluido; y de la buena ejecución de las soldaduras o de los acoplamientos a presión.

Ben Slama (1987) realizó mediciones de la eficiencia obtenida con diferentes colores de absorbedor, a una tasa de flujo de aire de  $60\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  utilizando deflectores transversales que no tocaban el absorbedor lo que hacía que el aire estuviera en constante contacto con el absorbedor y no fuera necesario calentar las paredes internas de la carcasa pintándolas de negro ya que las pérdidas de calor se incrementan y la eficiencia disminuye. Por el contrario, para los deflectores que están en contacto con el absorbedor y el flujo de aire está en continuo contacto con el aislante, resulta importante que la cara interna de la carcasa donde está contenido el aislante estén pintadas de negro ya que esto incrementa la transferencia de calor y por lo tanto la eficiencia.

	Color del absorbedor con revés sin pintura negra			Revés pintado de negro
Color	Metálico	Blanco	Negro	Negro
Eficiencia	56%	65%	73%	68%

Tabla 5. Eficiencia de absorbedores de acuerdo al color de la placa.

## 2.7. TIPOS DE COLECTOR EN BASE A PLACA ABSORBEDORA

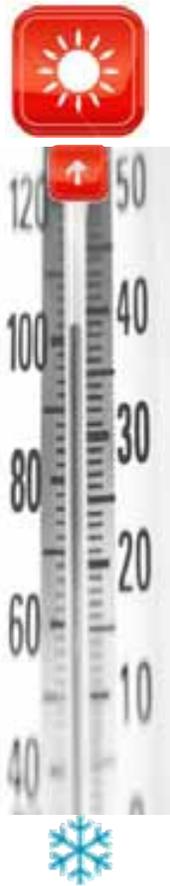
En realidad la composición de un colector solar de aire no es muy sofisticada donde el elemento más importante es la placa absorbedora o simplemente absorbedor, pues es el elemento que transforma la energía solar en energía térmica. Para interceptar la totalidad del espectro de la radiación solar se utiliza el color negro o una superficie selectiva en el absorbedor, y para evitar las pérdidas de calor hacia el entorno por radiación y convección se utiliza una cubierta que es transparente al espectro solar y opaca a la radiación infrarroja emitida por el absorbedor. Pero la ubicación del absorbedor respecto al aislante y a la cubierta, así como su configuración, arrojan resultados diferentes en cuanto a el coeficiente de transferencia de calor y que finalmente se ve reflejado en la eficiencia<sup>26</sup> del colector.

**Tipo 1:** Colector simple de circulación delantera.- La placa absorbedora se encuentra al fondo de la caja, sobre el aislante y la circulación del aire se realiza entre el vidrio y la placa. Es en principio el modelo que menor rendimiento tendría.



F.25. Colector simple de circulación delantera. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com.es>

<sup>26</sup> La eficiencia de un colector solar de aire está definida como la proporción de la energía transferida utilizable del aire caloportador durante su paso por el colector y la incidencia de la radiación solar.

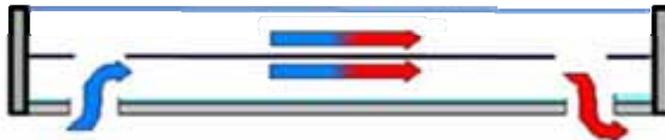


**Tipo 2:** Colector de placa intermedia – La placa absorbadora se encuentra separada del aislante y de la cubierta, y el aire circula por debajo de la placa.



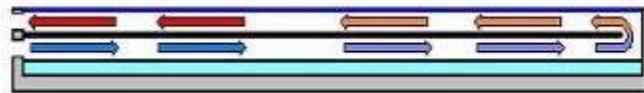
F.26. Colector de placa intermedia. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com>.

**Tipo 3:** Colector de placa intermedia de circulación paralela – La placa absorbadora se encuentra separada del aislante y de la cubierta, pero la circulación del aire se realiza por debajo y por encima de la placa absorbadora en la misma dirección.



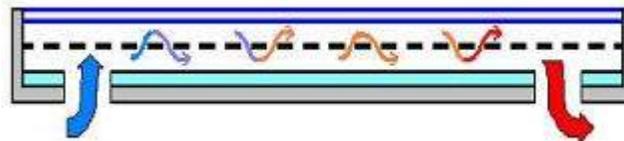
F.27. Colector de placa intermedia de circulación paralela. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com>.

**Tipo 4:** Colector de placa intermedia de circulación doble contraria - En este modelo la placa se encuentra situada en medio de la caja, realizándose la circulación de ida por detrás y la de retorno por delante del absorbedor o viceversa.



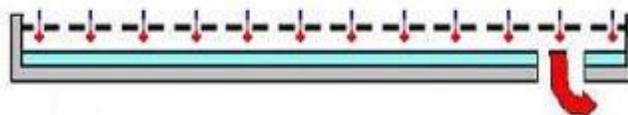
F.28. Colector de placa intermedia de circulación doble contraria. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire.

**Tipo 5:** Colector de placa intermedia con doble vidrio- El absorbedor aparece agujereado circulando el aire libremente entre los espacios por delante y por detrás del absorbedor. Se asegura que para lograr eficiencia es necesario dotarle de un doble cristal y que se mantenga una cámara aire estanco entre ellos.



F.29. Colector de placa intermedia con doble vidrio. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com>.

**Tipo 6:** Colector de aire sin vidrio- Estos son simplemente una plancha de metal negro mate toda ella calada con pequeños agujeros colocada sobre un muro. El aire calentado por éste es absorbido por un aerocirculador y llevado al interior del edificio. Es un modelo también encuadrable dentro de la arquitectura solar pasiva.

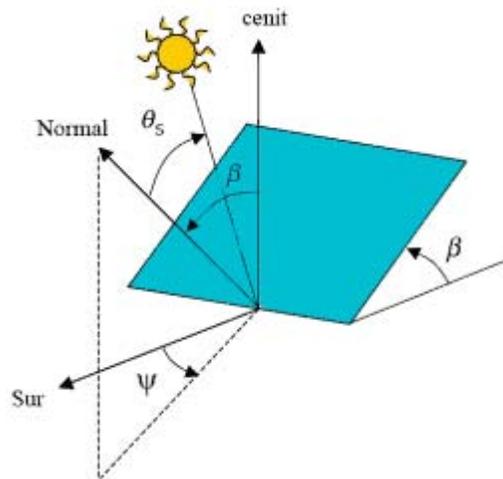


F.30. Colector de aire sin vidrio. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com>.

## 2.8. INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL COLECTOR

Los colectores pueden colocarse horizontales, verticales o inclinados, y la cantidad de calor solar colectado varía conforme a la situación geográfica, época del año y periodo durante el día. La orientación depende de la latitud, estación y necesidades arquitectónicas. Los colectores horizontales ciertamente son más fáciles de colocar, pero los colectores inclinados hacia el ecuador colectan una mayor cantidad de radiación solar y alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía. Por lo general, los paneles solares son colocados en una posición fija; no pudiendo seguir la trayectoria del sol en el cielo como lo haría un heliostato<sup>27</sup>, instalar un mecanismo de este tipo no produce ventajas significativas por lo que no se justifica la inversión<sup>28</sup>.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales (véase apéndice B.4. y B.5.). Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los colectores solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. Cada latitud presenta un ángulo de inclinación óptimo. Ligeras desviaciones de unos 5 grados con respecto del ángulo de inclinación óptimo tienen sólo un efecto menor en la producción de energía. El ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación; el cual está definido por una equivalencia en grados con la latitud en donde el colector se encuentre, y se recomienda que éste ángulo aumente en 15° en invierno y disminuya la misma cantidad en verano. Cabe mencionar que entre mayor sea el ángulo de inclinación, menores serán los problemas relacionados con la acumulación de nieve, lluvia y polvo. Las diferencias a causa de las condiciones climáticas son más importantes en la producción de energía que lo que se refiere al ángulo de inclinación.



F.31. Esquema de plano inclinado, donde  $\beta$  es la inclinación del módulo,  $\Psi$  el ángulo acimutal y  $\Phi$  la latitud del lugar. FFIERNOVA. Geometría solar. [www.fiernova.com/index](http://www.fiernova.com/index).

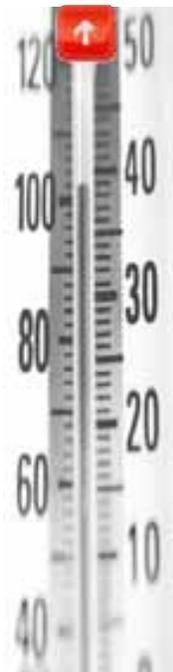
## 2.9. DEFLECTORES

La finalidad de colocar deflectores<sup>29</sup> en el canal de flujo de aire entre la placa absorbidora y el aislante es crear turbulencia para incrementar el coeficiente de transferencia de calor al mantener constante el flujo de aire y por lo tanto incrementar también la eficiencia del colector, ya que tienen la particularidad de extender la trayectoria de la circulación del aire. Para crear turbulencia en determinada tasa de flujo de aire, los deflectores deben incrementar la velocidad del aire caloportador al interior del colector.

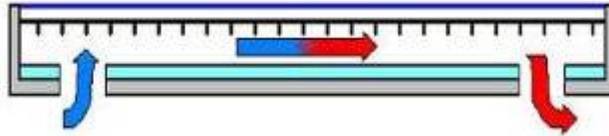
<sup>27</sup> Conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes normalmente en montura altacimutal, lo que permite, con los movimientos apropiados, mantener el reflejo de los rayos solares que inciden sobre él se fijen en todo momento en un punto o pequeña superficie, deshaciendo en el rayo reflejado el movimiento diurno terrestre.

<sup>28</sup> DANIELS, Farrington. Uso directo de la energía solar. Cap. 4: Colectores de radiación solar. Londres, 1964.

<sup>29</sup> Dispositivo estático que regula el flujo de un fluido o de la luz.

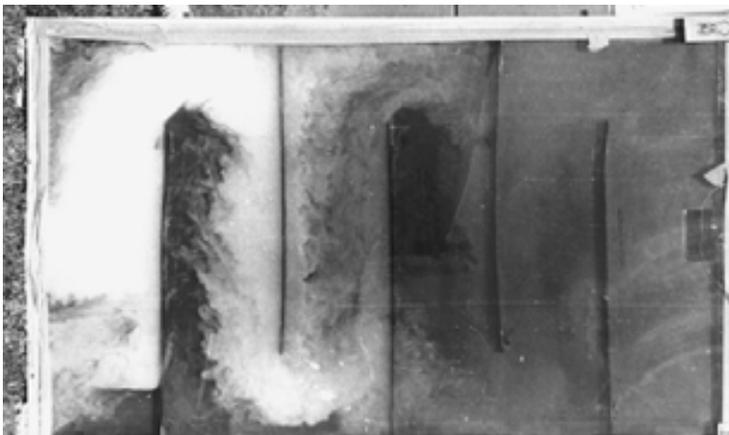


Conforme a los estudios realizados por Ben Slama (2006), esto puede ser logrado en parte por crear un patrón serpenteante a través de deflectores transversales (ocupando del 60 al 80% del ancho del colector y tocando el absorbedor) y en parte por situar deflectores en el aislante que restrinjan y forcen al aire a circular a través de un delgado espacio entre el absorbedor y los deflectores.



F.32. Deflectores en colector solar de aire. Sitiosolar. La calefacción solar por colectores de aire. <http://www.sitiosolar.com>

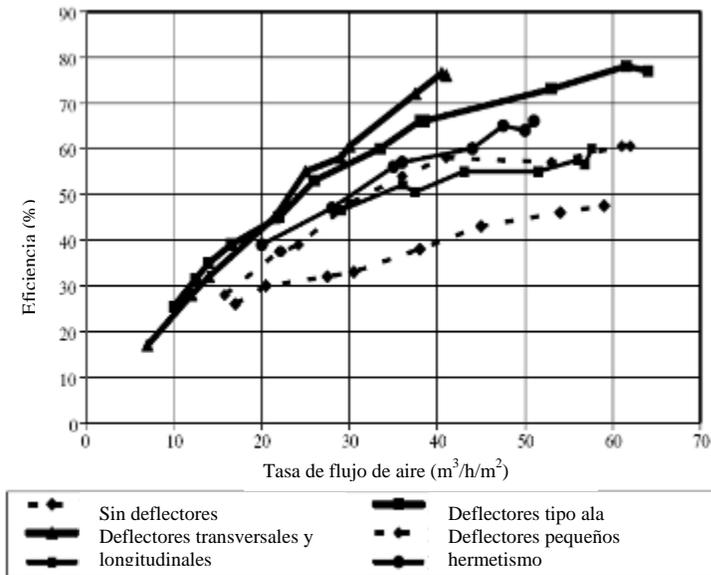
Para crear un flujo de aire ortogonal (longitudinal y transversal), los deflectores transversales pueden estar ubicados en el aislante y sin tocar el absorbedor; el flujo de aire entonces fluye serpenteante e interrumpido al nivel de los deflectores transversales. Sus experimentos demostraron que un 81.5% de eficiencia puede ser alcanzada con una tasa de flujo de  $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , bajo estas condiciones se logran temperaturas de entre  $40$  y  $60^\circ\text{C}$  lo que hace equiparable la eficiencia de un colector de aire con uno de agua<sup>30</sup>. Los resultados obtenidos en comparación con previos experimentos, permitió demostrar que en caso de tener una tasa de flujo de aire baja, puede compensarse una alta eficiencia del colector situando deflectores con escasa separación para incrementar la transferencia de calor; lo que lleva a considerar que se debe diseñar el colector solar de aire conforme a las condiciones específicas para cada caso.



F.33. Visualización de la tasa de flujo de aire en un colector solar de aire provisto de deflectores transversales haciendo pasar humo. ROMDHANE, Ben Slama. *The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer.*

Entonces de acuerdo a Ben Slama, la eficiencia conforme a deflectores está basada en: permitir al aire caloportador una alta velocidad aún con tasa de flujo de aire baja (circulación serpenteante), hacer que el aire recorra la totalidad del colector, evitando zonas muertas, enviar el aire caloportador hacia el absorbedor y no hacia el aislante y situando deflectores con poca separación para crear turbulencia aún cuando la tasa de flujo de aire es baja.

<sup>30</sup> ROMDHANE, Ben Slama. *The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer.* Sciencedirect. P.p. 139-140



F.34. Gráfica de eficiencia de colector conforme a deflectores. ROMDHANE, Ben Slama. *The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer.*



Tipo de deflector	Descripción/	Tasa de flujo de aire 35m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>			Tasa de flujo de aire 50m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>		
		Eficiencia	ΔP(Pa)	ΔT(°C)	Eficiencia	ΔP(Pa)	ΔT(°C)
	(Gbaha) Deflector es parcialmente transversos con aletas fijas al absorbedor	70		65	79		50
	(Ben Slama) Deflectores parcialmente transversos con pequeños deflectores perpendicular que no bloquean la circulación	68	70	67	81.5	150	53
	(Ben Slama, Ward) Deflectores parcialmente transversos que no tocan el absorbedor	66.62	60.44	52.60	78.72	130.80	30.51
	(Hachemi) Deflectores en espacio hermético fijados al absorbedor	74		70	80		55
	(Ward) Deflectores parcialmente transversos de tipo ondulado	74	60	70	78	135	60

Tabla 6. Comparativa de deflectores desarrollados por diversos autores, donde se indica la eficiencia y temperatura obtenida en base a la tasa de flujo de aire.

## 3. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

### 3.1. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

La generación de energía térmica en los sistemas de calefacción solar por aire no siempre coincide con la demanda de uso, para compensar este desfase, se utilizan los subsistemas de almacenamiento que funcionan como acumuladores que almacenan el exceso de energía para su posterior uso cuando el SCSA no se encuentra en operación. En un día claro, la energía solar recibida en un SCSA puede exceder la demanda energética, lo que produce muchas veces sobrecalentamiento del ambiente interior y sobre todo implica un desperdicio de energía. Entonces, un subsistema de almacenamiento tiene dos propósitos: conservar energía para su posterior uso y evitar el sobrecalentamiento del ambiente interior.

Speyer<sup>31</sup> discute las necesidades de los subsistemas de almacenamiento de calor en relación al costo, volumen, capacidad efectiva de almacenamiento, cantidad de calor utilizable para su uso posterior, intervalo de temperatura de trabajo y velocidad a la que se puede cargar y descargar el calor del subsistema. Afirma que si la capacidad de almacenamiento es grande, el tamaño del colector puede reducirse; arguye que el factor limitante del uso de la energía solar en competencia con los combustibles es el costo del colector.

La más eficiente forma de transferir el calor del sol a un material es situándolo directamente al sol (almacenamiento térmico primario). La temperatura emitida por el almacenamiento debe ser mayor que la temperatura de la superficie de un almacenamiento. El aire debe ser calentado en un área expuesta al sol (absorbedor) y luego transferida al almacenamiento; la temperatura del aire deben entonces ser superior que la temperatura de almacenaje. La descarga de calor ocurre a través de radiación y/o conducción. Existen tres tipos de almacenamiento térmico, por su forma de retener o conservar el calor:

ALMACENAMIENTO TÉRMICO PRIMARIO: El cual está definido por el área de almacenamiento que recibe directamente la radiación solar. Una baja emisividad y poco movimiento del aire sobre la superficie absorbadora, reducen la pérdida de calor de la superficie cuando la temperatura se incrementa. Se basa en el principio de conservar el calor sensible lo que significa que no se requiere de un cambio en su estado físico para realizar la carga y descarga de calor los cuales son denominados subsistemas de almacenamiento por capacidad calorífica, principalmente rocas, agua, metales y materiales constructivos.

ALMACENAMIENTO TÉRMICO SECUNDARIO: Es el área total de material de almacenamiento localizado sin contacto con la radiación solar, por tal motivo el almacenamiento térmico secundario es complementario al almacenamiento térmico primario. Una alta emisividad impacta en la eficacia de este tipo de almacenamiento. se basa en la conservación de calor latente que a diferencia del anterior, sufre un cambio de estado físico sin agentes externos mas que el cambio de temperatura al realizar la carga y descarga de calor; a esto se le denomina subsistema de almacenamiento físico-químico, donde el ejemplo más notable son las sales hidratadas.

---

<sup>31</sup> SPEYER, E. *Solar buildings in Temperate and Tropical Climates*, ibid. E35 –S8.P.p.418

**ALMACENAMIENTO TÉRMICO REMOTO:** Está oculto a la vista del almacenamiento térmico primario y secundario, y no existe contacto directo con ellos. Este tipo de almacenamiento, transfiere el calor por convección, ya sea de forma natural o forzada. Consiste en una cama de piedras, una cámara de aire inferior; siempre alejada del edificio o de la masa principal del edificio. La descarga de calor es controlada por compuertas y/o ventiladores. El calor también puede ser transferido a un espacio por conducción a través de un muro o un piso.

### 3.2. ALMACENAMIENTO POR CAPACIDAD CALORÍFICA

Como regla general, y salvo algunas excepciones puntuales, la temperatura de un cuerpo aumenta cuando se le aporta energía en forma de calor. El cociente entre la energía calorífica  $Q$  de un cuerpo y el incremento de temperatura  $T$  obtenido recibe el nombre de capacidad calorífica del cuerpo, que se expresa como:  $C = Q/\Delta T$

Para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1 °C es necesario aportar una cantidad de calor igual a una caloría. Por tanto, la capacidad calorífica de 1 g de agua es igual a 1 cal/K. El valor de la capacidad calorífica por unidad de masa se conoce como calor específico. En términos matemáticos, esta relación se expresa como:  $c = C/m = Q/m\Delta T$  donde  $c$  es el calor específico del cuerpo,  $m$  su masa,  $C$  la capacidad calorífica,  $Q$  el calor aportado y  $\Delta T$  el incremento de temperatura. El calor específico es característico para cada sustancia y, en el Sistema Internacional, se mide en jules por kilogramo y kelvin ( $J/(kg\cdot K)$ ). A título de ejemplo, el calor específico del agua es igual a:  $c = 4,184 J/(kg\cdot K) = 1 cal / (kg\cdot K)$



F.35. Gráfica de calor específico del agua, piedra, madera y plástico.  
www.rubitherm.com

En la tabla siguiente, se puede ver que los materiales comunes poseen una gran capacidad calorífica: el agua, muros de agua, la tierra o suelo seco compactado (adobe, tapia), y piedras densas como el granito junto a los metales como el acero. Estos se encuentran entre los 500 y 1000 kcal/m<sup>3</sup>·°C. Luego se encuentra otro grupo que va de 300 a 500 kcal/m<sup>3</sup>·°C entre los que se ubica la mayoría de los materiales usuales en la construcción actual, como el ladrillo, el concreto, las maderas, los tableros de yeso roca y las piedras areniscas. En un último grupo se encuentra (3 a 35 kcal/m<sup>3</sup>·°C), los aislantes térmicos. Un caso especial es el aire (0,29 kcal/m<sup>3</sup>·°C; 0,34 W/m<sup>3</sup>·°C), que sirve como un medio para transportar el calor en los sistemas pasivos pero no para almacenar calor en su interior.



Material	Calor específico	Densidad	Capacidad calorífica
	kcal/kg · °C	kg/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup> · °C
Agua	1	1000	1000
Acero	0.12	7850	950
Tierra seca	0.44	1500	660
Granito	0.20	2645	529
Ladrillo	0.20	2000	400
Madera de roble	0.57	750	430
Madera de pino	0.60	640	384
Piedra arenisca	0.17	2200	374
Concreto	0.16	2300	350
Mortero de yeso	0.20	1440	288
Tejido de lana	0.32	111	35
Poliestireno expandido	0.40	25	10
Poliuretano expandido	0.38	24	9
Fibra de vidrio	0.19	15	2.8
Aire	0.24	1.2	0.29

Tabla 7. Calor específico, densidad y capacidad calorífica de materiales comunes de construcción.

Almacenamiento con agua: La capacidad de almacenamiento de calor de los materiales ordinarios de un edificio y el agua (entre el punto de congelamiento y el de ebullición) es prácticamente independiente de la temperatura. El agua tiene más capacidad calorífica por kilo, por litro que cualquier otra sustancia, pero necesita de depósitos caros<sup>32</sup> y aunque se eleve 20° C la temperatura de un litro de agua cuando ésta se enfríe y se obtengan los 20 kcal absorbidos, existirán pérdidas de calor a través de las paredes del depósito hacia el aire circundante a pesar de la baja conductividad térmica del agua. Un sistema de almacenamiento con agua ocupa un volumen comparativamente pequeño y la transferencia de calor con serpentines es eficaz, pero en climas fríos se corre el riesgo de heladas.

Almacenamiento con metales: La capacidad calorífica de los metales para almacenar calor es muy buena. La capacidad a presión constante en calorías por grado de un gramo de cualquier elemento químico, es aproximadamente igual al resultado de dividir 6.4 entre su peso atómico; de forma que el cobre absorbería  $6.4/63.6 = 0.1$  cal, el acero absorbería  $6.4/55.8 = 0.11$  cal y el aluminio absorbería  $6.4/21=0.24$  calg<sup>-1</sup> cuando se calienten 1°C. Los problemas de almacenamiento con metales, se centra en el costo y el volumen necesario, y el intercambio de calor entre el depósito (pérdidas de calor). El costo de almacenamiento en metales es mucho mayor que en rocas y agua, ya que comparativamente un litro de agua almacena 1Kcal de calor por grado; en cambio el cobre tan solo 0.89 kcal, el hierro 0.87 kcal y el aluminio 0.63 kcal. Las pérdidas de calor ocurren por conducción en contacto con la superficie almacenante, en este caso, los metales que cuentan con alta conductividad térmica; también por convección del aire particularmente en lugares con mucho viento y por radiación infrarroja.

Almacenamiento en materiales de construcción: La capacidad de almacenamiento de un material de construcción depende principalmente de la densidad del material. La masa térmica, es una medida apropiada de la capacidad térmica. Sin embargo, la masa disponible es generalmente menor que el total de la masa; la masa disponible para almacenar calor está

<sup>32</sup> DANIELS, Farrington. Uso directo de la energía solar. Cap. 8: Almacenamiento de calor. Londres, 1964. P.p.140-148

determinada por la frecuencia con que el subsistema de almacenamiento absorbe y libera calor. La variación de temperatura en un material disminuye cuando la distancia a superficies emisoras de calor se incrementa, el material entonces disminuye su participación en cuanto a almacenamiento se refiere. El grosor juega un papel fundamental en el ritmo de absorción y liberación de calor en el ciclo de 24 horas y con el suministro de calor en un solo lado del material, los espesores de los materiales deben incrementarse para conservar el calor.

Material	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Admitancia específica KJ/m <sup>2</sup> h <sup>1</sup> /2K	Conductividad térmica W/mK (k)	Capacidad de calor específico KJ/kgK (Cp)	Capacitancia térmica KJ/m <sup>2</sup> K	Espesor mm
Concreto	2400	142	2.10	1.0	576	240
Concreto ligero	1000	39	0.38	1.0	240	240
Concreto	400	15	0.14	1.0	96	240
Tabique de arcilla	1400	58	0.60	1.0	336	240
Bloque de concreto hueco	1400	63	0.70	1.0	336	240
Asfalto	2300	91	0.90	1.0	138	60
Mezcla cemento arena	2000	106	1.40	1.0	120	20+40
Mortero con mármol	2800/2000	188/106	3.5/1.4	1.0	136	20+40
Azulejo/mortero	2000/2000	90/106	1.0/1.4	1.0	120	60
Aluminio	2700	1310	200	0.8	130	60
Acero	7800	860	60	0.4	187	60
Madera	600	26	1.40	2.1	78	60
Espuma rígida aislante	20	30-45	0.03	1.5	1.80	60
Capa de aire estanco	1.25	-	0.30	1.0	0.08	60
Agua (solo para comparación)	1000	98	0.58	4.2	1008	240

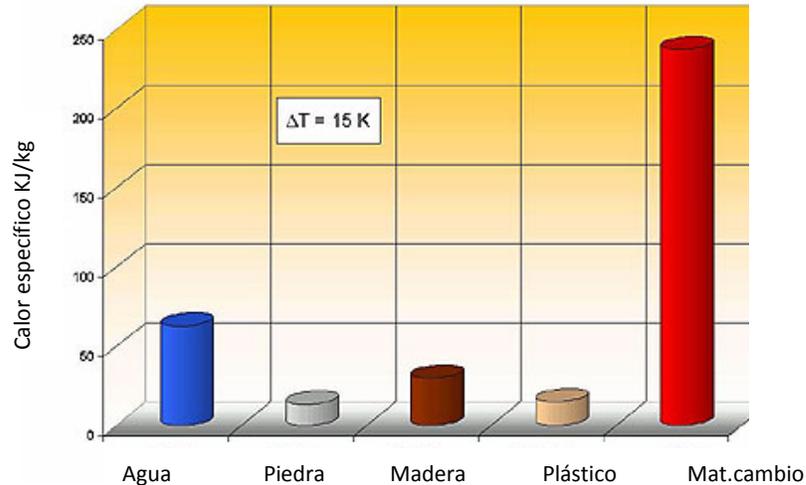
Tabla 8. Propiedades físicas de los materiales más comunes de la construcción.

### 3.3. ALMACENAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DEL CALOR

Los materiales con cambio de fase absorben calor cuando se funden y liberan calor al ser resolidificados; existen muchos materiales que bien pueden ser tratados aquí, pero sólo interesan aquellos que la temperatura de fusión y resolidificación alcanzan niveles apropiados para el almacenamiento de calor para edificios. Los materiales con cambio de fase tienen ventajas respecto al agua, sólo si su temperatura de almacenamiento está por encima del punto de fusión. Para una cantidad igual de calor almacenado, un almacenamiento de calor con materiales con cambio de fase tiene menor temperatura que un gran almacenamiento de agua. Esta propiedad es una ventaja considerable para la absorción y pérdida de calor de un almacenamiento; si un material con cambio de fase tiene ligeramente la temperatura superior que la temperatura requerida en un ambiente, el material actuará como un termostato: el calor excedente en el ambiente será almacenado sin un significativo incremento en la temperatura del aire, cuando el calor es requerido, es liberado desde el almacenamiento y la temperatura permanecerá constante. Las anteriores consideraciones resaltan la importancia de seleccionar el material adecuado en base a su punto de fusión.

Los cambios de fase pueden ser sólido-líquido, líquido-vapor y sólido-sólido, aunque en esta parte sólo hablaremos del cambio de fase sólido-líquido. Las sustancias que pueden utilizarse como medios de almacenamiento por cambio de fase sólido-líquido pueden ser muy variadas (hielo, sustancias orgánicas, sales hidratadas, compuestos inorgánicos y metales o aleaciones). Algunas tienen puntos de fusión altos por lo que se haría necesario utilizar colectores concentradores para poder obtener altas temperaturas y provocar el cambio de fase en la sustancia. Pero las ventajas de estos sistemas es que liberan la energía a una temperatura casi constante, y requieren poco espacio.





F.36. Gráfica de calor específico del agua, piedra, madera, plástico y material con cambio de fase.. [www.rubitherm.com](http://www.rubitherm.com)

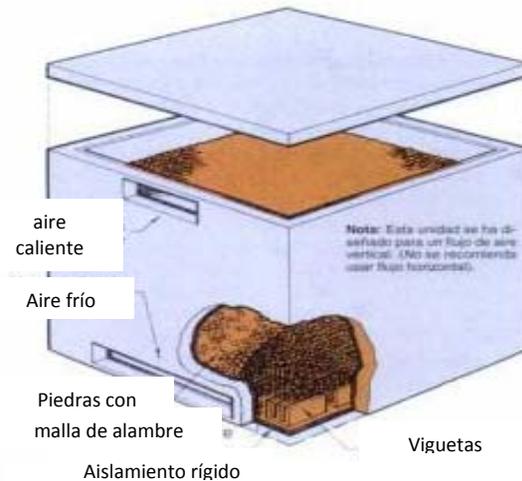
Los materiales que almacenan el calor latente, se funden al recibirlo y se solidifican al entregarlo, todo ello sin que cambie la temperatura del material. Una de las características de éste sistema consiste en que puede almacenar más calor en menor espacio que otros sistemas, al requerir menos espacio, el contenedor puede ser más pequeño y requerir de menos aislamiento. Si se elije el material de almacenaje de forma que el punto de fusión se halle sólo unos pocos grados por encima de la temperatura que necesita el sistema, la salida del colector no tendrá que estar más que unos pocos grados por encima de la temperatura del punto de fusión. El material de almacenaje aumentará su temperatura sólo hasta alcanzar el punto de fusión, momento a partir del cual no cambia su temperatura, hasta que se funden por completo. La uniformidad de la distribución de la temperatura en este material de almacenamiento es mayor que en los sistemas líquidos o de rocas, ya que cuando un colector trabaja con un sistema de este tipo y el sistema de almacenamiento ha alcanzado parcial o casi totalmente su máxima temperatura que el colector ha de garantizar ha de ser mucho mayor.

### 3.4. ALMACENAMIENTO DE CALOR EN ROCAS

Los depósitos con rocas o guijarros<sup>33</sup> son idóneos para almacenar calor cuando de un sistema de aire se trata, ya que el intercambio de calor queda asegurado por el área superficial de las rocas y la resistencia que éstas oponen al paso de aire. Las rocas tienen la capacidad de retener el *calor sensible*, lo que implica que no se necesita un cambio de estado físico para almacenar calor; a diferencia de las sales hidratadas que para almacenar calor en forma de energía química requieren cambiar su estado de sólido a líquido denominándose este fenómeno como *calor latente*. Al igual que en el caso de los sistemas de almacenamiento que utilizan agua, para el caso de los depósitos con rocas a gran escala, estos depósitos deben ser colocados enterrados, ya que la conductividad del suelo es muy baja (particularmente si está seco); para depósitos pequeños no es funcional, pues la cantidad de calor que absorbe el suelo es demasiado grande (DANIELS, 1964).

<sup>33</sup> Se considera que guijarro es una de las designaciones genéricas de la materia prima que se refiere a un trozo de roca no modificado, es decir, natural. El guijarro difiere de otros trozos de roca por su tamaño (por ejemplo, del bloque, que es de mayores dimensiones), por su redondeamiento (producido por el rodamiento en el agua o sobre el suelo), por la presencia total o parcial de corteza (que no se presenta en el nódulo).

El aire caliente obtenido de un colector solar de aire es dirigido hacia un contenedor lleno con rocas mismas que hacen descender la temperatura del aire cuando este le cede el calor a las rocas; este aire, retorna al colector de aire repitiendo el ciclo hasta obtener la misma temperatura en el colector y en el depósito de rocas. La caída de temperatura del aire que pasa a través de las rocas causa un diferencial de temperatura comúnmente conocido como estratificación. La conductividad térmica en un depósito de ésta naturaleza, con un tercio de su volumen ocupado por el aire, es muy baja a causa de que las rocas se tocan entre sí en áreas muy pequeñas en los puntos de contacto y la circulación del aire encerrado se ve reducida por los guijarros mismos; por lo tanto las pérdidas de calor de las paredes del depósito al aire circundante se reducen considerablemente respecto a los sistemas que utilizan agua.



F.37. Unidad de almacenamiento de calor a modo de lecho de piedrecillas. Cortesía de Solar Corporation. WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000.

Resulta que “la resistencia al paso del aire aumenta a medida que el tamaño de los guijarros disminuye [...], un diámetro conveniente para almacenar calor solar es de 5 cm, excepto para altas temperaturas o para depósitos pequeños”<sup>34</sup>.

Por su parte, Watson argumenta que la dimensión adecuada de rocas más apropiada varía entre 1 y 5 pulgadas, dependiendo del volumen del contenedor y la distancia que el aire debe recorrer. Las piezas más pequeñas de rocas tienen mayor eficiencia en la transferencia de calor, pero se necesita más potencia en los ventiladores pues se incrementa la resistencia del paso del aire por las rocas<sup>35</sup>; por lo que el mejor tamaño de roca está relacionado con las condiciones específicas de cada situación, que abarca principalmente clima local, dimensión del espacio a calefactar y la tasa de flujo de aire.

Mientras que Whitman dice que las rocas han de tener un tamaño medio (2 a 10 cm de diámetro), ser redondas en lo posible y de un tamaño similar. Una regla práctica consiste en que no sean de tamaño inferior a 0.75 veces al tamaño medio, ni mayor que 1.5 veces el tamaño medio<sup>36</sup>. Si son demasiado grandes, sólo se calentarán las que se hallen en el exterior del contenedor, desperdiándose el espacio ocupado por el resto de las rocas. Si son demasiado pequeñas, llenarán todo el espacio del contenedor y reducirán el espacio para que circule el aire entre ellas. Se deben evitar las rocas blandas, ya que se desmenuzarán y generarán polvo, y aquellas que, como las de origen volcánico que tengan algún olor.

<sup>34</sup> DANIELS, Farrington. Uso directo de la energía solar. Cap. 8: Almacenamiento de calor. P.p. 145

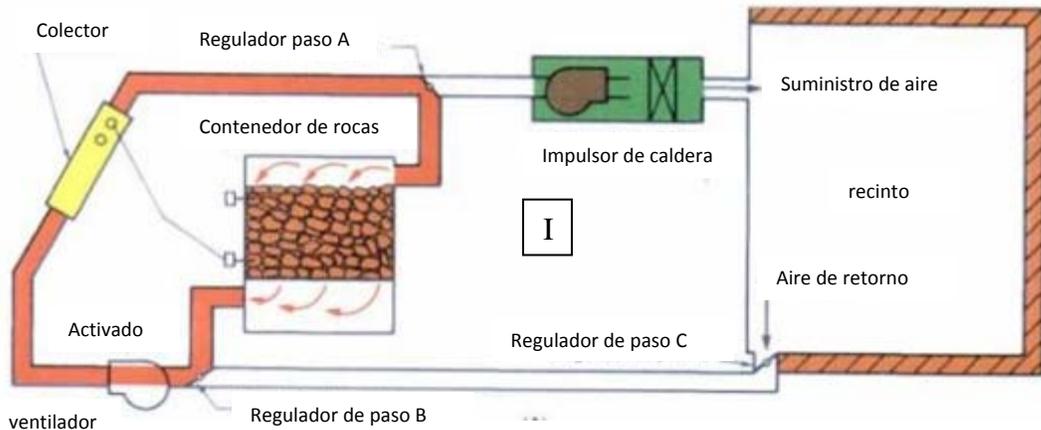
<sup>35</sup> Watson, Donald. Designing and building a solar house. Capital city press. Vermont, USA. 1981. P.p. 79-80

<sup>36</sup> WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000. Capítulo: 5 Calefacción alternativa (madera y solar) P.p. 123-160



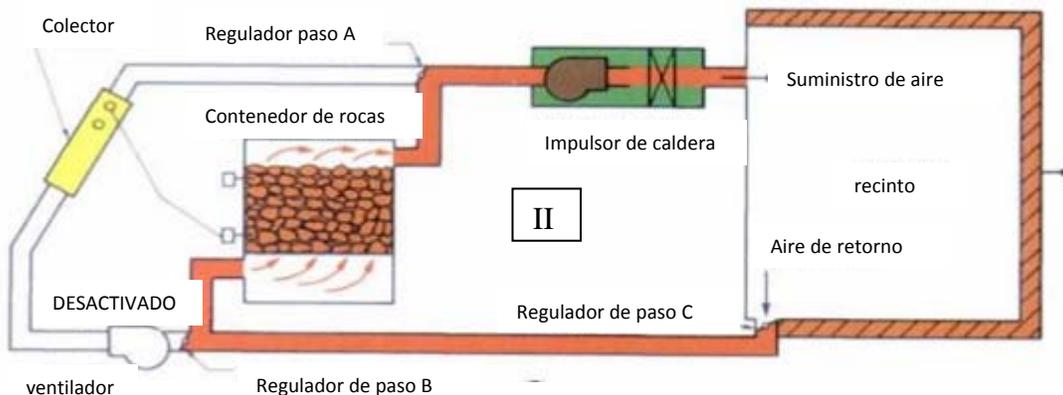
A continuación se detalla conforme un ejemplo de Whitman, la forma en que un sistema de almacenamiento de calor rocas logra interactuar con el resto de los elementos de un SCSA poniendo especial interés en la regulación del paso del aire.

I: Cuando los colectores están interconectados directamente con el contenedor de almacenamiento, el regulador de paso A, cierra el flujo de aire hacia la caldera (o sistema auxiliar de calefacción, en caso de existir), y el regulador de paso B permite que el aire fluya a través del ventilador hacia el colector.



F.41. Fase I de funcionamiento de un SCSA con contenedor de rocas. WHITMAN,William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000

II: Cuando el termostato de la habitación solicita calor y la temperatura de los colectores no es tan alta como para suministrar el calor deseado por sí solo, se pondrá en marcha el ventilador de la caldera, el regulador de paso A cerrará el flujo de aire de los colectores y permitirá que el aire circule desde el almacenamiento de rocas hacia la habitación y de vuelta al contenedor, utilizando el paso por el sistema auxiliar de calefacción pero sin la necesidad de ser activado.

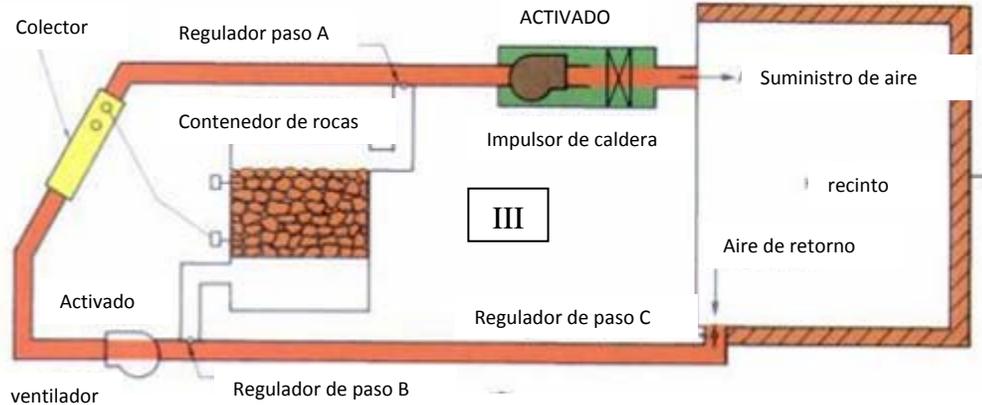


F.42.. Fase II de funcionamiento de un SCSA con contenedor de rocas. WHITMAN,William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000



Calefacción solar por aire

III: Cuando el termostato de la habitación solicita calor y los colectores están generando calor suficiente, los reguladores A y B cierran el paso hacia el contenedor de almacenamiento y abren un camino directo para que el aire vaya de los colectores al inmueble, abriéndose el regulador C dando paso al aire de retorno de vuelta a los colectores.



F.43. Fase III de funcionamiento de un SCSA con contenedor de rocas. WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000

### 3.5. ALMACENAMIENTO DE CALOR EN SALES HIDRATADAS

Las sales hidratadas en el ámbito de los materiales de cambio de fase, son el material más popular por su disponibilidad en el mercado, pues es uno de los productos químicos más sencillos utilizados para almacenamiento de calor. La transición de los cristales de sulfato de sodio de hidratados a deshidratados, sucede al incrementarse la temperatura por encima de los 32.3°C formando una solución de sal anhidra con absorción de calor, y cuando la temperatura baja de los 32.3°C la sal anhidra reacciona con el agua produciendo calor. El calor de reacción es de unas 50 cal g<sup>-1</sup> de sal hidratada. “Después de muchos ciclos hay una tendencia a la formación de soluciones supersaturadas en vez de cristalizaciones; también sucede que los cristales se depositan en el fondo y la estratificación obstaculiza la reversibilidad. La velocidad de cristalización es de 1.25 cm h<sup>-1</sup>, lo que fija el límite de obtención de calor.

El intercambio de calor entre una corriente de aire o agua y la sal depende de la superficie total de intercambio, de la turbulencia del fluido que pasa por la unidad de almacenamiento, y de la diferencia de temperatura<sup>37</sup>. Los compuestos químicos son colocados en recipientes plásticos sellados y se apilan de forma tal, que el aire pueda pasar a través de ellos sin la necesidad de un contenedor con aislamiento térmico. Aunque en comparación de costos económicos, el agua prácticamente no cuesta nada pero requiere de depósitos costosos, y los guijarros resultan muy baratos pero de volúmenes considerables, los hidratos de sal tienen un precio mayor al agua y rocas, éstos subsistemas de almacenamiento permiten economizar en depósitos y espacio a causa de su mayor capacidad de almacenamiento de calor<sup>38</sup>.

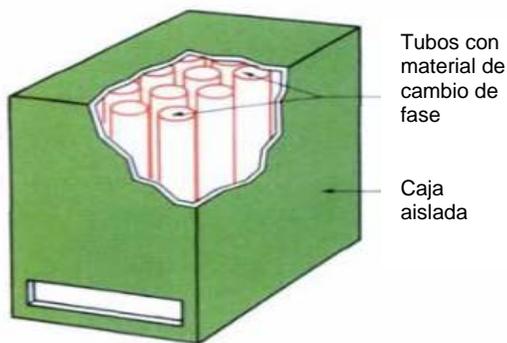
<sup>37</sup> DANIELS, Farrington. *Uso directo de la energía solar*. Cap. 8: Almacenamiento de calor. Londres, 1964.P.p. 146

<sup>38</sup> TELKES, M. *Solar heat storage*. Solar Energy Research. Ed. F. Daniels y J.A. Duffie, Madison, University of Wisconsin Press. Pp 57-62.

El punto de fusión del material con cambio de fase es uno de los factores más importantes a la hora de elegir el material definitivo. Los cambiadores de calor, tienen una caída de temperatura, entre el fluido caliente y el fluido a calentar. Los sistemas de calefacción por convección forzada de aire caliente han de distribuir el aire a una temperatura considerablemente mayor que la del ambiente a calentar. En consecuencia, en un sistema basado en aire, el punto mínimo de fusión del material con cambio de fase debería estar rondando los 30°C.

Nombre	Composición química	Punto de fusión (F)	Heat of fusión (Btu/lb)	Densidad (lb/ft <sup>3</sup> )
Calcium chloride hexahydrate	CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	84-102	75	10-2
Sodium carbonate decahydrate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 10H <sub>2</sub> O	90-97	106	90
Disodium phosphate dodecahydrate	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 12H <sub>2</sub> O	97	114	95
Sodium sulfate decahydrate	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10H <sub>2</sub> O	88-90	108	91
Sodium thiosulfate pentahydrate	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5H <sub>2</sub> O	118-120	90	104

Tabla 9. Propiedades de sales hidratadas<sup>39</sup>



F.44. Contenedor con tubos llenos de material de cambio de fase. WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000

Un subsistema de este tipo, puede estar conformado por tubos llenos de material con cambio de fase, dispuestos en el contenedor, sin contacto directo entre ellos, por donde el aire tiene espacio para circular entre ellos, tanto para cargar el sistema con energía como para descargar. Otra opción es la de utilizar paneles planos conteniendo el material con cambio de fase, donde el aire tiene espacio por el cual circular alrededor de los paneles al circular al atravesar el contenedor

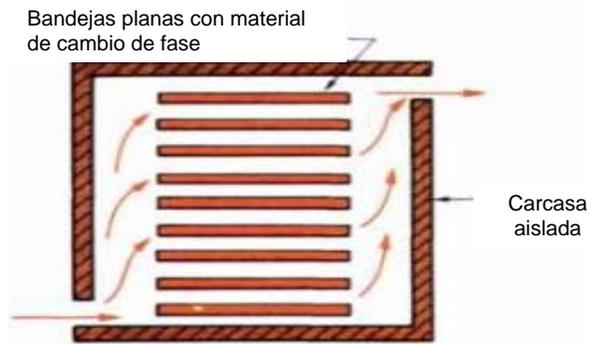
Como estos materiales tienen conducción térmica pobre y también evitan las segregaciones de sal, solo son usados en capas muy delgadas; los problemas adicionales radican en sobre enfriamiento y la contención del líquido. Algunos de los problemas que presentan este tipo de sales son mencionados a continuación:

1. En algunos casos, la sal presenta un sobreenfriamiento o falla de la sal para solidificarse en la temperatura respectiva.
2. Segregación de los componentes de la mezcla por efecto de la gravedad mientras se encuentra en fase líquida.
3. Degradación de la sal después de varios ciclos de uso.
4. Falla de los recipiente que contienen las sales debido a que estas son corrosivas.
5. Área de contacto grande entre la sustancia y el fluido de trabajo que transporta la energía de y hacia el tanque almacén, en caso de sistemas activos.

<sup>39</sup> TELKES, Maria, 1975. *Thermal storage for solar heating and cooling*. Proceedings of the Workshop on Solar Energy Storage for Heating and cooling of buildings. Charlottesville, Virginia. Abril, 1975



Algunos de estos problemas han sido resueltos parcialmente. Por ejemplo, la adición de bórax (tetraborato de sodio decahidratado) a la sal de Glauber ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) elimina el sobreenfriamiento provocando la cristalización entre los 28 y 29 °C, con su consecuente liberación de energía. Por otro lado, existen ciertos agentes químicos que resuelven el problema de la segregación o separación de la sustancia. Estos agentes, forman una especie de matriz microscópica que mantiene a los componentes en suspensión. Finalmente, el problema de la corrosión en los tanques de almacenamiento se resuelve parcialmente mediante el uso de tanques hechos de diversos plásticos.

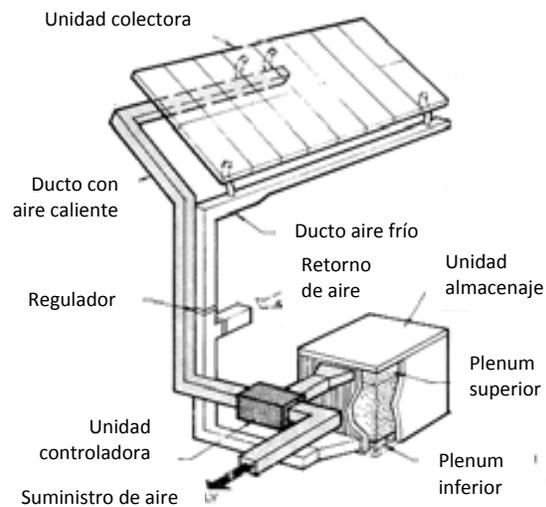


F.45. Contenedor con paneles llenos de material de cambio de fase. WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000

### 3.6. SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La distribución es requerida después de realizarse la colección y/o el almacenamiento de calor; y su principal objetivo es conducir el calor hasta el sitio donde se requiere para su uso. La distribución de calor depende directamente del diseño del edificio y del sistema de calefacción, por lo que el principal reto del diseñador es reducir la necesidad de distribución en lo más posible.

Las temperaturas obtenidas a través de colectores solares de aire y las conservadas en sistemas de almacenamiento, varían conforme al tipo de clima y la eficiencia del colector y subsistema de almacenamiento; y a partir de este punto, las pérdidas de calor están en función de la distancia entre el calor obtenido y el punto hasta donde se desea conducir el aire caliente. En caso de que no sea posible situar el colector y/o el sistema de almacenamiento a corta distancia, deberán utilizarse ductos por donde circule el aire bajo una forma de circulación forzada. Entre más grande sean los ductos que transporten el aire caliente se producen mejor resultados en cuanto a la eficiencia del sistema. Los ductos ocupados para los SCSA son un poco más grandes que los utilizados para aire acondicionado, pero de existir éstos últimos bien pueden adaptarse para un SCSA<sup>40</sup>.



F.46. Distribución de aire caliente por ductos. [http://www.warmair.com-images-active\\_solar\\_cycles\\_gif.mht](http://www.warmair.com-images-active_solar_cycles_gif.mht)

<sup>40</sup> Watson, Donald. Designing and building a solar house. Capital city press. Vermont, USA. 1981. P.p.81

La forma más eficiente de distribuir energía solar es la de diseñar los espacios a calentar a manera de capas, de manera tal que la energía colectada y almacenada en el espacio o espacio adyacente a donde será usado el calor, a esto se le conoce como zona térmica (thermal zoning). Si esta forma de distribución no es posible, la energía tendrá que ser transportada hacia los espacios a través del edificio.

#### Sistema con almacenamiento térmico primario:

La distribución de energía solar a un espacio, deberá estar diseñada para prevenir grandes diferencias entre la temperatura superficial y la temperatura del aire cercana a techo y piso. Si la masa primaria y secundaria está disponible en un sistema directo, la distribución por intercambio de calor entre muros (radiación) y de los muros al aire (convección), ésta será adecuada. Las diferencias de temperatura son entonces un resultado del sistema de calefacción, o la pobre resistencia de calor de las ventanas. En un sistema termosifón (por ejemplo un muro trombe) existen riesgos de presentarse un gran diferencial en el gradiente vertical de temperatura, el cual dependerá de la mezcla de aire interior con el flujo de aire exterior. Las altas temperaturas superficiales pueden ser alcanzadas mediante la masa de los muros.

#### Sistema con almacenamiento térmico secundario:

El almacenamiento secundario sin un buen contacto con el muro (obstrucciones por instalaciones o mobiliario), es tan importante como la convección sobre la superficie. Una mejor distribución es obtenida si el calor se suministra en el recinto uniformemente sobre la superficie del piso, donde la única restricción es el rango de temperatura máxima de confort térmico establecido. Si gran cantidad de calor obtenido por conversión fototérmica es liberada en un recinto, puede ser en parte transferida al espacio adyacente simplemente abriendo una puerta. La circulación de aire de una habitación a otra es elevada si la altura de la puerta es extendida por encima del nivel del plafón, ya que esto evita bolsas estancadas de aire caliente cerca del plafón. La cantidad de radiación térmica transferida a las habitaciones adyacentes será generalmente menor.

#### Sistema con almacenamiento térmico remoto:

Un sistema central de calefacción por aire puede regular la distribución lo que implica la recirculación de aire. Diseñar un edificio donde la circulación controlada tome lugar exclusivamente puede significar sin embargo, flujos de aire natural (convección y flujo de aire libre como resultado de la presión del viento). La resistencia del flujo (por ejemplo en una cama de rocas) puede resultar en una velocidad menor a la infiltración o a la ventilación, además, pueden presentarse problemas de acústica en el inmueble, por lo que es recomendable recurrir al uso de ductos y aerocirculadores.

### **3.7. CIRCULACIÓN NATURAL Y FORZADA**

Conforme a lo visto en el apartado 1.7 de este documento, se denomina pasivo a los sistemas de aprovechamiento solar en los cuales no intervienen elementos que consuman energía auxiliar. Y activo a los sistemas que requieren de elementos auxiliares consumidores de energía artificial para distribuir la energía térmica acumulada en el ambiente al cual se vinculan. El solo hecho de incluir algún medio mecánico o eléctrico aunque no consuma energía auxiliar, convierte al sistema en un sistema *híbrido*. El uso del concepto pasivo o activo, no incluye la forma en que circula el fluido, que bien puede hacerse de forma natural o artificial, y que muchos atribuyen equivocadamente muchas veces a los términos pasivo y activo, respectivamente.



En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura<sup>41</sup> para que la transferencia térmica sea eficaz, debemos asegurar la circulación del fluido. Esto se puede conseguir de dos formas diferentes, por termosifón (circulación natural) y mediante un ventilador (circulación forzada).

Recordemos que la circulación natural provoca un movimiento de aire que se vale de la gravedad y la diferencia de temperaturas entre el aire frío y el aire caliente, misma que se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el espacio a calefactar. En cambio, la circulación forzada es empleada cuando no es posible utilizar circulación natural por la distancia entre colector y espacio a calefactar o a causa de condiciones propias del sitio, y se recurre a utilizar un ventilador (aerocirculador). El hecho de utilizar un aerocirculador no provoca la diferencia con los sistemas solares pasivos y activos, puesto que la forma en que se circula el aire no se encuentra relacionada con el suministro energético, pues como ya se ha mencionado, bien se pueden incluir celdas fotovoltaicas que suministren energía eléctrica al aerocirculador haciendo que el total sistema opere con energías renovables. En resumen, no importando como se haga circular el aire (natural o forzada) se puede emplear el calificativo de sistema pasivo, siempre y cuando no se consuma algún tipo de energía no renovable.

#### Circulación natural:

Circulación que se basa en el principio del que el fluido del circuito primario, calentado por el sol, disminuye su densidad, se vuelve más ligero y asciende, provocando un movimiento natural del fluido mismo. Entre las instalaciones de circulación natural se puede hacer otra distinción más entre sistemas de intercambio directo y sistemas de intercambio indirecto. En los sistemas de intercambio directo, el fluido intercambiado es el mismo que es calentado en los colectores y que luego sube a través del termosifón en el acumulador, donde se reservará para su utilización. En los sistemas de intercambio indirecto, un fluido se calienta en los paneles solares y siempre “por termosifón” circula en un intercambiador colocado dentro del depósito en el que se acumula el fluido caliente. Los sistemas de circulación natural tienen las siguientes ventajas:

1. Velocidad de intercambio térmico proporcional a la diferencia de temperatura entre el depósito de acumulación y los paneles.
2. Ninguna circulación invertida durante la noche.
3. Autorregulación de la circulación.
4. Mantenimiento reducido al mínimo.
5. Garantía de funcionamiento del sistema en su totalidad.

Por otro lado, las técnicas de calefacción solar pasiva también pueden clasificarse como ganancia directa, ganancia indirecta y ganancia aislada, clasificación que guarda relación entre circulación natural y la distancia de captación a la zona de entrega del aire caliente. La ganancia directa es donde la radiación solar penetra directamente y es almacenada en el recinto. La ganancia indirecta almacena y distribuye la radiación solar usando materiales de colección y almacenaje. La ganancia aislada colecta la radiación solar en una zona apartada al inmueble para después conducirla hasta el recinto deseado.

---

<sup>41</sup> Sistema de calefacción solar que alcanza a calentar el fluido hasta 80°C suficiente para las necesidades de calefacción.

### Circulación forzada:

Es utilizada cuando la ventilación natural es insuficiente para satisfacer los requerimientos respiratorios, para controlar la temperatura y diluir los contaminantes presentes en el ambiente<sup>42</sup>. En el caso de la calefacción, cuando no es posible utilizar circulación natural por la distancia entre colector y espacio a calefactar o las condiciones propias del sitio, se recurre a utilizar un aerocirculador. A estos sistemas se les agrega controladores (termómetros y termostatos), para que cuando el colector llegue a una determinada temperatura preestablecida, el ventilador se encienda cuando la temperatura del ambiente interior sea baja y no cumpla con el nivel de confort. Básicamente la decisión entre circular aire naturalmente y de forma forzada, está condicionado por el tipo de sistema de calefacción solar por aire seleccionado, la dimensión del proyecto y la distancia entre el colector y la zona a calefactar. El principio de funcionamiento de un sistema de circulación forzada se distingue del de circulación natural porque el fluido, fluye en el circuito cerrado por efecto del empuje de un aerocirculador comandado por una centralita o termostato que se activa, a su vez, por sondas colocadas en el colector y en el depósito de almacenamiento.

### **3.8. AEROCIRCULADOR**

Un ventilador (aerocirculador) es un dispositivo para agitar o mover aire o gas. Básicamente crea una corriente de aire moviendo unas paletas o álabes. Se utiliza para desplazar aire o gas de un lugar a otro, dentro de o entre espacios, para ventilación o para aumentar la circulación de aire en un espacio habitado. También de forma secundaria, se utiliza el ventilador junto con un disipador o un radiador para aumentar la transferencia de calor entre un sólido y el aire, bien para refrigerar, bien para calentar cualquiera de los dos elementos en contacto. Los ventiladores se seleccionan conforme a la capacidad de manejar el caudal de aire requerido, velocidad de transporte en el ducto y la resistencia debida al movimiento del aire en el ducto. Según la trayectoria del gas en el rodete<sup>43</sup>, éste puede ser de tipo axial o centrífugo.



F.47. Ventilador axial (izq.) y ventilador centrífugo con motor externo (der.). Grammer-solar. [www.grammersolar.com](http://www.grammersolar.com). Twinsolar –SLK Tosolar Manual técnico.

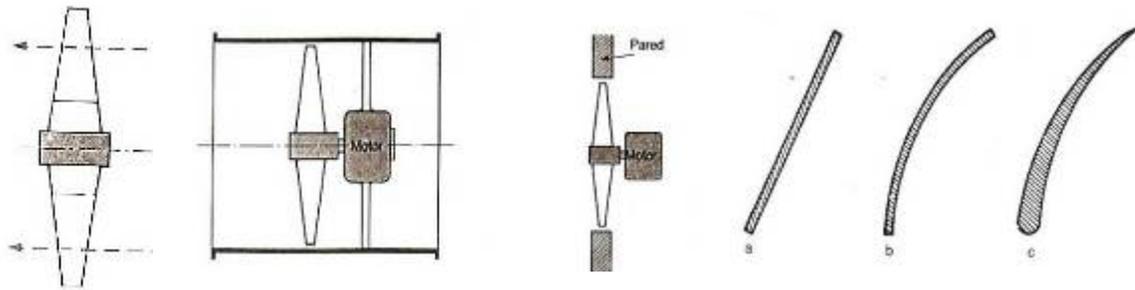
**VENTILADOR AXIAL:** En este tipo de ventilador, la trayectoria del gas es paralela al eje, habiéndose sustituido el rodete propiamente dicho por unas hélices. Se suelen utilizar para mover grandes volúmenes de gas (generalmente aire) a presiones relativamente bajas. Como el flujo de gas es paralelo al eje del ventilador cuenta con el inconveniente de tener un nivel sonoro relativamente alto. Dispone de una serie de palas a modo de hélices solidarias al eje, las cuales pueden estar fabricadas en chapa de hierro, aleaciones ligeras o materiales plásticos. Las palas pueden tener secciones transversales diferentes, las cuales determinarán los campos de actuación de las mismas, además de los rendimientos que puedan obtener (pala plana, pala alabeada de chapa y pala alabeada). En uno de pala plana, una inversión en el sentido de giro del ventilador tiene como consecuencia una inversión en el sentido de circulación de gas, siendo

<sup>42</sup> Ghella, et.al. Especificaciones del sistema de ventilación forzada del proyecto de reconstrucción sede del litoral Universidad Simón Bolívar. Sartenejas. Mayo,2002.

<sup>43</sup> El rodete es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido.

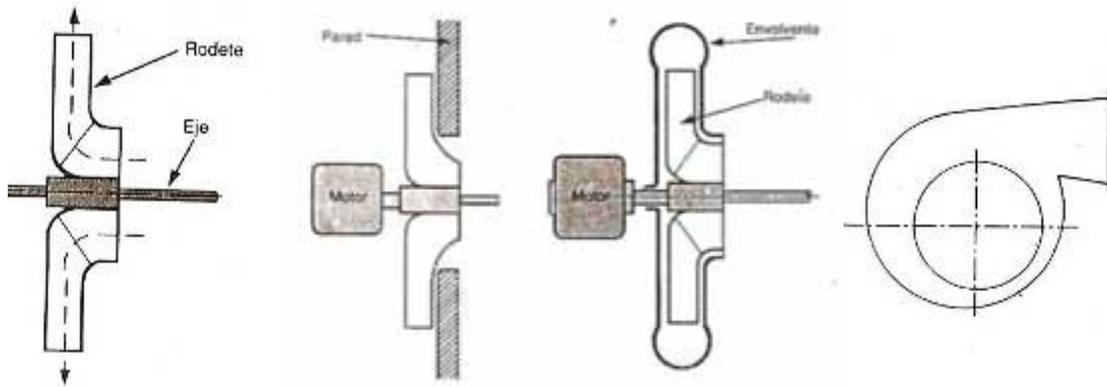


el rendimiento de máquina el mismo que originalmente. Si las palas son de tipo alabeado, una inversión en el sentido de giro también tiene como consecuencia un sentido del flujo de gas opuesto, pero obteniéndose un rendimiento inferior al original<sup>44</sup>.



F.48. De izquierda a derecha: Corte transversal de ventilador axial, ventilador axial con envolvente propia, ventilador axial con envolvente mural. Palas: a. pala plana, b. pala alabeada de chapa y c. pala alabeada.

**VENTILADOR CENTRÍFUGO:** En estos ventiladores la trayectoria final del gas es perpendicular al eje de éste. En un ventilador centrífugo, la envolvente (cámara espiral), cumple la misión de canalizar la entrada y, sobre todo, la salida del gas. La forma espiral que tiene, produce un aumento adicional de presión a cambio de que el gas pierda algo de velocidad. Aunque tiene los mismos elementos constructivos que las bombas centrífugas (incluso su modo de funcionamiento), la diferencia está en el hecho de que al transportar aire y no agua, su caudal volumétrico y específico son distintos, pero los métodos de cálculo son los mismos<sup>45</sup>. Los ventiladores centrífugos se deben proveer de soportes aislantes y amortiguadores de vibración, las aspas serán radiales o inclinadas hacia atrás, estarán recubiertos interiormente con una capa protectora contra los efluentes y sus motores serán a prueba de explosión, y los álabes deberán estar equipados con cojinetes antifricción auto aliniables y para un período de vida de al menos 200.000 horas.<sup>46</sup>



F.49. De izquierda a derecha: Corte transversal de ventilador centrífugo, ventilador centrífugo con envolvente mural, ventilador centrífugo con envolvente propia y envolvente o caja espiral.

<sup>44</sup> BLESÁ, Ramón. Conocimientos fundamentales sobre climatización. Capítulo 7. Ventiladores y turbocompresores. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1994.

<sup>45</sup> BLESÁ, Ramón. Conocimientos fundamentales sobre climatización. Capítulo 7. Ventiladores y turbocompresores. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1994.

<sup>46</sup> Ghella, et.al. Especificaciones del sistema de ventilación forzada del proyecto de reconstrucción sede del litoral Universidad Simón Bolívar. Sartenejas. Mayo, 2002.

También se puede hacer una clasificación de los ventiladores teniendo en cuenta el aumento de presión que experimenta el gas. Según este criterio la clasificación es:

Baja presión: Cuando la diferencia de presión que sufre el gas es inferior a 0.1 mm.c.a.<sup>47</sup>.

Media presión: Cuando la diferencia de presiones está comprendida entre 0.1y 0.3 mm.c.a.

Alta presión: Si la diferencia de presiones es mayor a 0.3 mm.c.a.

### 3.9. ACCESORIOS PARA DISTRIBUCIÓN DEL AIRE CALIENTE



F.51. Silenciador (arriba), atenuador acústico (en medio) y válvula de retención (abajo). Grammer-solar. [www.grammersolar.com](http://www.grammersolar.com)  
Twinsolar –SLK Tosolar  
Manual técnico.

**Disipador:** Elemento físico, sin partes móviles, destinado a eliminar el exceso de calor de cualquier elemento. Su funcionamiento se basa en la segunda ley de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire.

**Silenciador:** Amortiguador de alto rendimiento para la reducción de ruido del ventilador, se integra directamente después del ventilador en el propio conducto.

**Atenuador acústico:** Sirve para la reducción del sonido del ventilador y para evitar la transmisión acústica entre habitaciones que estén conectadas por los conductos de ventilación. El manguito flexible facilita el montaje incluso para lugares estrechos y conducciones complicadas, por lo tanto, se utiliza como alternativa al silenciador en el caso de montajes complicados.

**Válvula de retención:** Impide que entre aire a través de la habitación, pasando por el sistema de ventilación al colector.



F.50. Disipador circular (arriba), disipador pasa-muro (en medio) y disipador horizontal (abajo). Grammer-solar.



### 3.10. TIPOS DE SCSA CONFORME A INTERACCIÓN DE ELEMENTOS

Entendiendo por sistema al conjunto de elementos interrelacionados e interactuantes entre sí, la siguiente clasificación se basa en el documento emitido por Solar Energy Ireland<sup>48</sup>. Esta clasificación es independiente de la forma en que pueda aplicarse el concepto de colector y se refiere a la relación entre colector y la distribución hacia el espacio a calefactar, por lo que no limita en la forma, ubicación y colocación de colectores, ni la necesidad de almacenaje. Tampoco determina la forma estricta en que cada método utiliza sistemas naturales o artificiales para circular el aire. La forma en que son aplicadas distintas formas de colector solar, almacenaje y distribución de calor son posteriormente descritas en este documento.

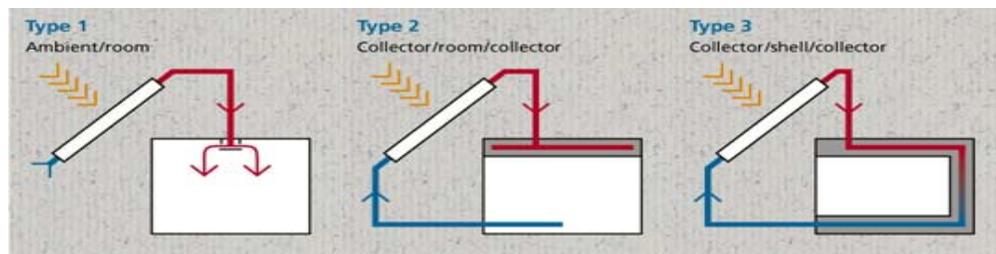
<sup>47</sup> Milímetros en una columna de agua

<sup>48</sup> SOLAR ENERGY IRELAND. *Solar air heating systems*. (ref. 19 de agosto de 2007). Disponible en web: [http://www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)

**Tipo A:** Su construcción es muy simple, el aire pasa de un colector sin cristal a un colector acristalado de forma directa al espacio a calefactar provyendo tanto de calefacción como de ventilación. Su aplicación se extiende a grandes edificios industriales que requieren adecuada ventilación.

**Tipo B:** El aire del espacio a calefactar se envía al colector donde es calentado y después enviado hacia un sector de almacenaje térmico en la zona superior de a la habitación desde donde es transmitido el calor en forma radiante. Este sistema utiliza convección natural para circular el aire.

**Tipo C:** Este sistema es particularmente idóneo para aquellas situaciones donde se desee rehabilitar térmicamente un edificio que sufre de pobre aislamiento. El aire calentado por el colector pasa a través de una cavidad en el muro de la fachada, lo que produce un amortiguamiento que reduce considerablemente las pérdidas de calor vía fachada.

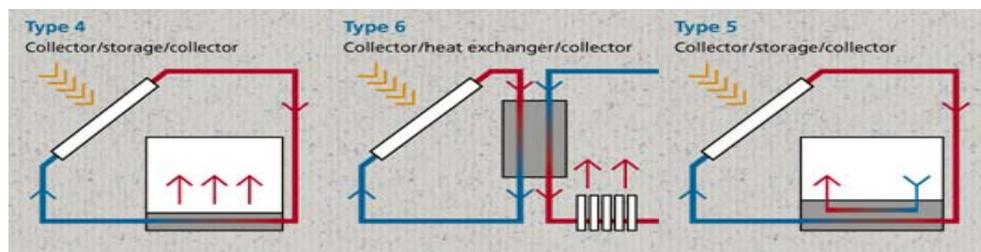


F.52. Tipos de SCSA conforme a interacción de elementos I. (Izq. Tipo A, Medio: Tipo B, Der.: Tipo C). SOLAR ENERGY IRELAND. *Solar air heating systems*. (ref. 19 de agosto de 2007). Disponible en web: [http://www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)

**Tipo D:** El aire calentado por el colector es circulado a través de canales en el piso, donde el calor es irradiado al espacio con tiempo de retraso de 4 a 6 horas. Se considera que para este sistema, se obtiene una mayor eficiencia al utilizarse circulación forzada, así como una temperatura ambiente uniforme.

**Tipo E:** Se considera una versión más avanzada del tipo D, ya que el aire del espacio a calefactar es circulado en forma separada de los canales de almacenaje. Esto es, el calor puede ser almacenado por un largo periodo de tiempo y después ser emitido cuando es necesario; sin embargo, su costo de inversión suele incrementarse respecto a otros sistemas.

**Tipo F:** Combina un colector solar de aire con una bomba de calor aire-aire. Ya sea que se utilicen radiadores independientes o elementos constructivos como muros o piso, este sistema suele emplearse cuando la distancia entre el espacio a calefactar y el colector es considerable.



F.53. Tipos de SCSA conforme a interacción de elementos II. (Izq. Tipo D, Medio: Tipo E, Der.: Tipo F). SOLAR ENERGY IRELAND. *Solar air heating systems*. (ref. 19 de agosto de 2007). Disponible en web: [http://www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)

## 4. INTEGRACIÓN DE SCSA

### 4.1. LA UNIDAD COLECTORA COMO ENVOLVENTE

Cuando se trata de integración de un SCSA, el dominio de los principios básicos de termodinámica, permiten concebir la unidad colectora más allá de un dispositivo en forma de caja, tal como en 1767 Horace de Saussure desarrolló con la “caja caliente” (ver 1.5 antecedentes). A más de un cuarto de siglo desde aquel evento, debemos permitir que lo que alguna vez fué intuición para calentar un espacio, y poco a poco se fue convirtiendo en técnica; se convierta para el diseñador de espacios, en un factor que configure de forma integral cada uno de los elementos de un sistema de calefacción por aire para que en realidad se conciba como tecnología.

Es importante aclarar, que un SCSA no es una suma de elementos que se añaden indiscriminadamente al inmueble con tal de incrementar la temperatura. Por el contrario, se trata de la interacción de distintos subsistemas que conforman un sistema, y que como tal, armoniza con el entorno. A causa de ello, un SCSA, se trata de un sistema que debe funcionar en concordancia con el inmueble en su aspecto funcional, expresivo (estético) y de confort (mismo que no excluye por atender el confort térmico, otro tipo de condicionantes ambientales como la acústica o de iluminación); a causa de lo anterior, se habla de integración arquitectónica, entendiendo que el campo de la arquitectura tiene implícito en su campo de conocimiento los mencionados factores.

Aquello que permite al diseñador, concebir el cambio de escala en la unidad colectora sobretodo, es el dominio de los principios de termodinámica como ya se mencionó, y la comprensión de la integración arquitectónica como clave en la configuración de un sistema. En el año 1994, DOE manifestó que “los colectores solares vienen en muchas formas y tamaños; una casa que usa una habitación u otra parte del inmueble como un colector solar es llamada casa solar pasiva”. Esto permite aclarar que un colector puede ser desde un objeto parecido a una caja, la estructura misma del edificio o un espacio arquitectónico; y lleva a concluir que un colector solar de aire puede adoptar la forma de un dispositivo o envoltente de un edificio, con tan solo cambiar la escala, y mantener el mismo principio para cumplir su función. Por lo anterior, cada vez que se emplee unidad colectora debe entenderse como un dispositivo o como envoltente, y deberá especificarse su expresión formal.

### 4.2. DEFINICIÓN

Ya que la arquitectura desde épocas muy remotas ha desarrollado la envoltente de los edificios que atienden las necesidades de los ocupantes, que van desde protegerse contra fenómenos meteorológicos como lluvia y viento hasta controlar la humedad y temperatura al interior. Es por eso, que por muy moderno que un edificio pueda ser en su aspecto estético, la tecnología que se desarrolla no deja de atender las necesidades tradicionales de cualquier ser humano lo que sucede con un sistema de calefacción solar por aire.

Este tipo de sistemas se encuentran clasificados bajo el rubro de arquitectura solar, ya que ésta se define como el arte de diseñar edificios energéticamente eficientes con alto nivel de confort, lo que implica un balance entre la conservación térmica, elecciones en los materiales y el uso de



la energía solar<sup>49</sup>. La primera vez que se discutieron los problemas arquitectónicos de la integración de un sistema de calefacción solar por aire, fue en un simposio<sup>50</sup> en el año de 1955, por lo que más tarde se realizó un concurso de casas de calefacción solar<sup>51</sup>.

El Solar Energy Ireland manifiesta que el diseño e instalación de sistemas solares de aire integrados, tiene que tomar en cuenta los factores arquitectónicos y tecnológicos del edificio. Estos sistemas deben siempre funcionar como una capa del edificio que protejan contra el clima y sirvan como barrera contra el ruido. El esfuerzo continuo por desarrollar esta tecnología, está trayendo consigo la optimización de sistemas térmicos en edificios que implementen medidas de diseño a favor de los ahorros energéticos. Lo que incluye la implementación de envolventes con sistemas de distribución activos o pasivos. Estas envolventes no solo cumplen con los requerimientos cualitativos de la arquitectura (integración, estética, imagen, etc...) sino también los aspectos que combinados, permiten la eficacia de un sistema de calefacción solar por aire integrado.

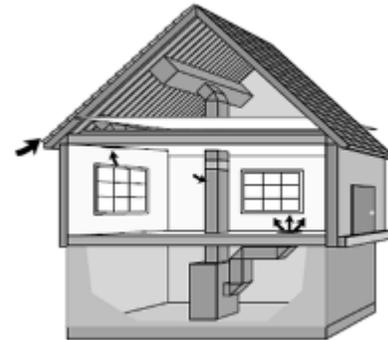
Los componentes individuales del sistema deben formar parte integral de la envoltura convencional del edificio y pueden ser fácilmente combinados con ventilación natural o forzada. Los siguientes elementos pueden estar incluidos:

1. Techo con colectores integrados (acristalados y no acristalados).
2. Fachada con colectores integrados (acristalados y no acristalados).
3. Espacios acristalados como invernaderos.

#### 4.3. CALEFACCIÓN INTEGRADA POR TECHOS

Al hablar de calefacción solar integrada para techos, se especifica que es la aplicación de equipo de colección solar en el techo del edificio donde el equipo funciona tanto como cubierta como colector solar. Suele ser complicado el aplicar ésta definición por la diversidad de funciones que puede tener un techo, y de ahí que se deriven tres clasificaciones básicas:

- Colector adosado que cubre parte o la totalidad del techo, y que está en función de las características de fábrica de los colectores.
- Techo contenedor del aire caloportador: el fluido puede estar contenido en (1) ductos separados del techo, (2) contenido entre un panel falso y el techo, y (3) conteniendo el fluido caloportador en la cámara formada entre el ensamblaje de superficie colecta no acristalada y el techo mismo.



F.54. Esquema de un sistema de calefacción integrada a techo con distribución a planta baja. Archibald, John. Building integrated solar thermal roofing systems. American Solar Roofing Company.



F.55. Colector adosado a techo en restaurante japonés. Sistema OM Solar.

<sup>49</sup> SOLARSEN. Solar architecture.

<sup>50</sup> ANDERSON, L.B., Hunter, J. M., Dietz, R.H. y Close W.A. The Architectural problems of solar collector, A Round Table Discucion, en Proc. Woldrs Symp. Applied Solar Energy, Phoenix, 1955,pp. 201-14.

<sup>51</sup> Association for Applied Solar Energy, Phoenix, Arizona.

#### 4.4. CALEFACCIÓN INTEGRADA POR INVERNADERO

Los invernaderos adosados tienen considerable popularidad, porque no solo proporcionan el confort térmico deseado, sino porque pueden conformar un espacio adicional y bien integrado al inmueble, por lo que su principal característica es la adaptabilidad. Estos sistemas ubican su parte acristalada hacia el ecuador, y su parte sólida en dirección contraria. Requieren de una importante masa térmica que almacene la energía solar captada directamente, así como de un buen aislamiento térmico. Se componen de un colector, de un absorbedor, de masa térmica y un sistema de control y distribución. Se clasifican conforme a la propuesta de Seifert<sup>52</sup>, por su forma en que se adaptan al inmueble:



F.56. Esquema de un invernadero adosado. Seifert, R. The attached solar greenhouse. <http://www.uaf.edu/ces/publications/freepubs/EEM-01259.pdf>



F.57. Invernadero adosado. STENERI, Roberto. Invernadero adosado. Eficiencia energética. Agosto 2007.

**Tipo A:** El invernadero está separado del inmueble mediante elementos constructivos no aislados, con el objetivo de que éstos almacenen energía térmica y entregándola al interior del inmueble por un periodo largo.

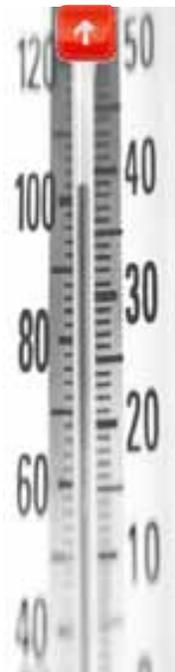
**Tipo B:** El invernadero está separado de la estructura principal por elementos acristalados como ventanas y puertas, detrás de los cuales y correspondientes a la zona habitable, se ubican acumuladores de energía térmica que se recibe en primera estancia por el vidrio del invernadero y después por el acristalamiento de puertas y ventanas. Produciendo que durante el día se reciba insolación directa, y durante la noche se mantenga la temperatura por el retardo térmico de los acumuladores cuando desprenden calor gradualmente.

**Tipo C:** El invernadero tiene el mismo esquema que la opción anterior, sin embargo, los acumuladores de energía térmica se reducen a los elementos constructivos del inmueble, principalmente un piso de gran espesor.



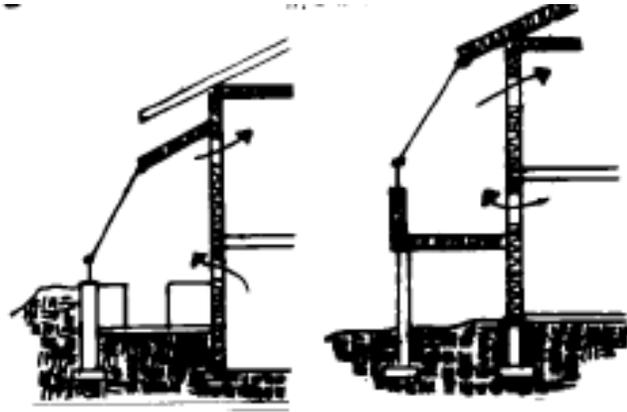
F.58. Tipos de calefacción integrada por invernadero I. (Izq.: Tipo A, Medio: Tipo B, Der.: Tipo C). SEIFERT, Richard. The attached greenhouse. University of Alaska Fairbanks. Nov. 2006.

<sup>52</sup> SEIFERT, Richard. The attached greenhouse. University of Alaska Fairbanks. Nov. 2006. P.p.1-4



Tipo D: El invernadero, se coloca por debajo del nivel de piso y alcanza el nivel superior del recinto, en el cual no se consideran acumuladores, sino que simplemente se calienta el espacio distribuyendo el aire por medios naturales convectivos, eliminando ductos y aerocirculadores.

Tipo E: El invernadero está suspendido y fuertemente aislado en su parte baja y superior y en todas aquellas zonas donde no se halle acristalamiento. Esta opción es viable, en aquellos sitios donde el terreno es muy húmedo o se hallan cuerpos de agua, por lo que tiene el riesgo de siempre generarse puentes térmicos.



F.59. Tipos de calefacción integrada por invernadero II. (Izq.: Tipo D y Der.: Tipo E). SEIFERT, Richard. The attached greenhouse. University of Alaska Fairbanks. Nov. 2006.

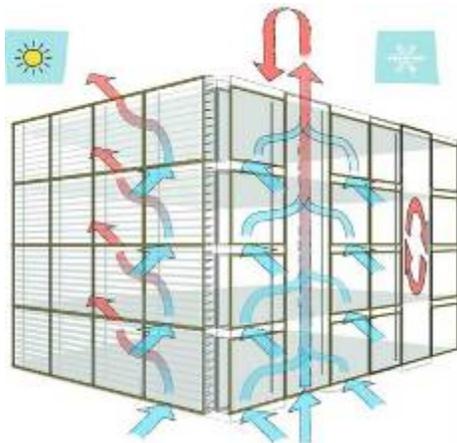
#### 4.5. CALEFACCIÓN INTEGRADA POR FACHADAS

Se caracteriza porque los colectores de energía están integrados como dispositivo, como prefabricados o son ensamblados in situ. La fachada al ecuador, se utiliza para integrar todos los sistemas de calefacción solar por aire de forma modulada y estéticamente bien integrada. Se dividen en:

- Fachada doble: donde el aire es calentado entre un acristalamiento y la fachada existente.
- Fachada contenedor del aire caloportador
- Colector adosado sobre la fachada en función de las características de fábrica de los colectores.



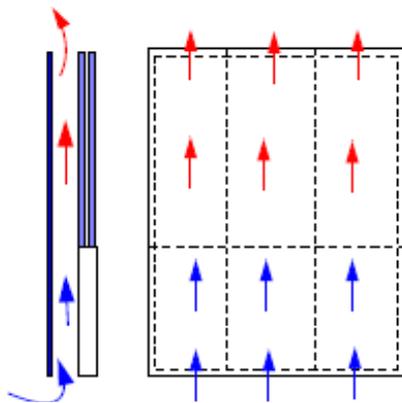
F.60. Colector adosado a fachada.



Las dobles pieles, generalmente asociadas a grandes edificios de oficinas, cuya principal función es optimizar (de) la iluminación natural y acondicionar el clima interior mediante el manejo de las corrientes de aire, desde el exterior al interior o viceversa según la estación del año. Los aspectos más importantes para tomar en consideración en el diseño de una doble fachada son: control de la ganancia solar, control de pérdidas de calor, almacenaje de energía térmica e integración con los sistemas de climatización existentes.

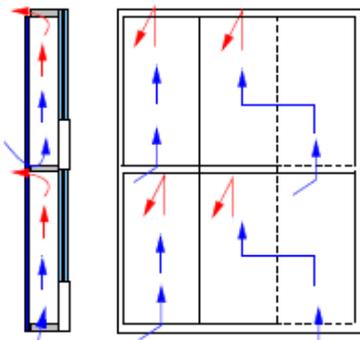
F.61. Esquema de edificio con fachda doble piel. Steneri, R. Doble skin facade. <http://eficienciaenergetica.blogspot.com/2007/10/double-skin-faade-i.html>

Las fachadas doble piel pueden ser clasificadas de muchas maneras, sin embargo, se ha tomado como referencia la clasificación de Faggembauu, que está relacionada con la geometría de la cavidad (cámara de aire), y en cuyo caso se ha hecho una adaptación para este documento considerando solo el funcionamiento para calefacción.



F.62. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo muro cortina. FAGGEMBAUU, Débora. Heat transfer and fluid dynamics in double and single skin facades. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006.

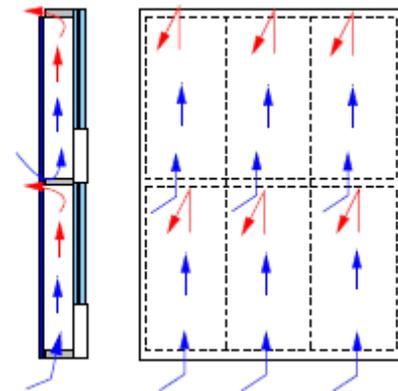
particiones horizontales antes mencionadas. Su elección está relacionada con propiedades acústicas, de seguridad, fuego o de ventilación. El movimiento del aire es enteramente natural.



F.64. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo caja ventana. FAGGEMBAUU, Débora. Heat transfer and fluid dynamics in double and single skin facades. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006.

**Muro cortina:** La cavidad de aire no tiene separaciones y se extiende sobre el total de la altura del inmueble. El aire ingresa por la parte inferior, se calienta por acción de la radiación solar y su movimiento ascendente se produce por convección natural, aunque la ventilación forzada es posible para ingresarlo al edificio. Llegada la época de verano, el aire que asciende es evacuado por la zona superior que se abre para estos fines.

**Fachada seccionada:** En este caso, las cavidades tienen una configuración horizontal donde el aire se mueve como un muro cortina pero limitado en su sentido vertical por las



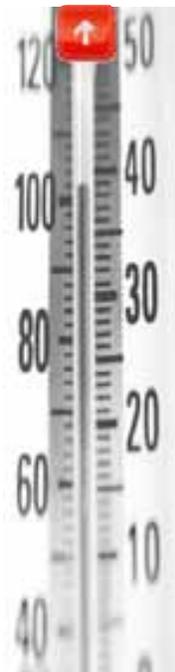
F.63. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo fachada seccionada. FAGGEMBAUU, Débora. Heat transfer and fluid dynamics in double and single skin facades. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006.

**Fachada tipo caja ventana:**

Las cavidades de aire formadas en este caso, resultan ser de tipo horizontal y vertical, de una manera en que se forman unas pequeñas cajas o contenedores independientes. El suministro, ingreso y expulsión de aire, están instalados para cada nivel del inmueble, generándose según Zollner un flujo de aire diagonal, por lo que se evitan las reinfiltraciones, y se evita un rápido ascenso del aire hasta la zona superior efecto que hace que el aire no alcance la temperatura deseada.



F.65. (Izq.) Fachada acristalada y (der.) detalle de fachada acristalada.



#### 4.6. REHABILITACIÓN

Una de las ventajas de re-acondicionamiento de las viviendas con la incorporación de sistemas de calefacción solar, es la de mejorar su comportamiento frente a variables ambientales y de contexto, así como su evidente reducción del consumo energético que normalmente es necesario para satisfacer las condiciones de confort por medios convencionales. Si a esto se añade la posibilidad de aumentar el control del sistema por medios automatizados, es probable que además de que se lograsen niveles de temperatura, humedad, ventilación, iluminación y acústica adecuados, se alcanzaran valores de ahorro energético muy superiores a los actuales.

Típicamente, el mayor costo-efectividad en instalaciones de calefacción solar por aire en edificios ocurre en construcciones nuevas, pero desde que estos sistemas pueden funcionar como una envolvente exterior se ha permitido un mayor introducción de estrategias tecnológicas de calefacción solar, porque resulta menos costoso utilizar esta tecnología a forma de recubrimiento y no como un dispositivo extra cuya exclusiva misión es la de proporcionar aire caliente. En segundo término, los costos se reducen cuando los proyectos incluyen reparaciones o modernización de los muros existentes, teniendo como beneficio adicional mejor aislamiento térmico, mejora en la calidad del aire interior y más y mejor ventilación. Además desechar o despreciar un inmueble ya construido es un despilfarro, siempre es preferible rehabilitar, reformar e invertir en edificios existentes que construir nuevos. La ventaja está en que se ahorra energía, se aprovechan recursos existentes y se eliminan los daños y molestias de la demolición (residuos, polvo, ruido, etc.). Rehabilitar es siempre más sostenible que cualquier modo de edificar nuevo.

“Rehabilitar un edificio de viviendas, aunque se sustituyan todas las carpinterías, se le dote de aislamientos y se le cambien las instalaciones, supone un ahorro energético y de contaminación del 60% aproximadamente frente a la construcción de otro nuevo. Con una rehabilitación integral, se puede conseguir la misma calidad en todas las características que una vivienda de nueva construcción”.<sup>53</sup> Por tal motivo, los sistemas de calefacción solar por aire aplicados a edificios existentes tienen un enorme atractivo financiero. Por otra parte la tecnología solar aplicada en arquitectura nos abre una puerta en el campo del diseño arquitectónico, donde las cualidades a explotar no son solamente estéticas, sino también funcionales, requiriendo para su éxito un verdadero compromiso del arquitecto con la forma, materialidad y sistemas energéticos del edificio. De esta manera podemos decir que si la tecnología supera los fines meramente estéticos y se preocupa también de los fenómenos ambientales, entonces podemos hablar de un verdadero y sincero High Tech en Arquitectura Sustentable<sup>54</sup>.

Después del gas LP y la leña, utilizados para calentamiento de agua y cocción de alimentos, es importante señalar que, en nuestro país, aunque la electricidad ocupa el tercer lugar, es el energético más utilizado en la vivienda, debido al uso de electrodomésticos, equipos de iluminación y sistemas de climatización (aire acondicionado y calefacción). Sin embargo, en algunas ciudades, el consumo de electricidad compite por el primer lugar con el gas LP, el cual se utiliza para el aire acondicionado y la calefacción.

<sup>53</sup> ECODES. ¿Obra nueva o rehabilitación? Fundación ecología y desarrollo. Zaragoza, España. Disponible en web: <http://www.ecodes.org/pages/areas/vivienda/01vivienda.asp> (ref. mayo, 2008)

<sup>54</sup> HUENCHUÑIR, Marcelo. *El potencial de las tecnologías en Arquitectura Urbana Sustentable*. Revista CA. Tecnología 122/Arquitectura. <http://www.revistaca.cl/2005/10/el-potencial-de-las-nuevas-tecnologias-en-arquitectura-urbana-sustentable/> (ref. nov.17, 2008)

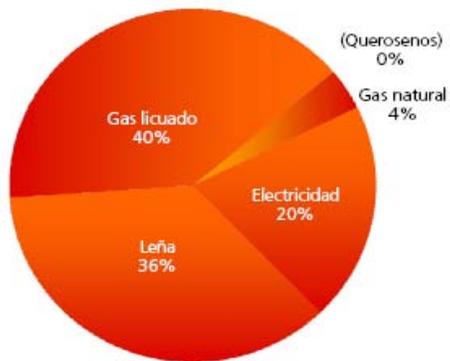


Fig. 66. Balance nacional de energía. Guía CONAVI

A causa de la situación energética actual en México y en el mundo, es importante analizar y comparar los costos energéticos, pues con las medidas de rehabilitación con SCSA se logra abatir el consumo energético, ahorrando así dinero<sup>55</sup>. La rehabilitación de edificios antiguos o abandonados es una excelente oportunidad para hacerlos eficientes desde el punto de vista energético, aprovechando además los incentivos y exenciones impositivas gubernamentales, la ley de impuestos sobre la renta Artículo 40, fracción XII LISR, impulsa el uso de energía proveniente de fuentes renovables, haciendo que los contribuyentes que inviertan en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes

renovables, puedan deducir 100% de la inversión en un solo ejercicio y con ello favorecer la protección del medio ambiente al disminuir el uso de combustibles fósiles. Para comprender el alcance de “fuente renovable”, se incluye la descripción de éstas, como: aquéllas que por su naturaleza o mediante un aprovechamiento adecuado se consideran inagotables, tales como la energía solar en todas sus formas; la energía eólica; la energía hidráulica tanto cinética como potencial, de cualquier cuerpo de agua natural o artificial; la energía de los océanos en sus distintas formas; la energía geotérmica, y la energía proveniente de la biomasa o de los residuos. Asimismo, se considera generación la conversión sucesiva de la energía de las fuentes renovables en otras formas de energía. Con el fin de que estas inversiones no se hagan con el único fin de reducir la base gravable del impuesto, se contempla como obligación el que la maquinaria y equipo que se adquiera se mantenga en operación durante un periodo mínimo de cinco años al ejercicio que se deduzca.

Se han tomado 3 criterios que logran edificios más eficientes energéticamente para casos de rehabilitación:

- Solamente se deben tomar medidas correctoras técnicas cuando las condiciones exteriores prevalentes perjudican sensiblemente la estancia en el edificio. Dentro de lo posible, el edificio debe de disponer de medidas propias contra condiciones exteriores hostiles y poder conseguir una situación de confort que reduzca al mínimo las necesidades de calefacción adicional.
- Los edificios deben tener la capacidad técnica de abastecerse y almacenar energía de fuentes naturales para poder usarlas según sus necesidades. Integrar la arquitectura a ciclos energéticos en la tierra favorece la proyección de edificios con unas demandas energéticas menores.
- Las casas deben estar integradas ecológicamente a su correspondiente entorno. No sólo han de reducir al mínimo su consumo energético interno, sino que, además, no deben ejercer ninguna influencia negativa sobre el medio ambiente interior y exterior. Se debería aprovechar los ciclos energéticos existentes en un lugar, pero nunca dañarlos por culpa de la sobreexplotación.

<sup>55</sup> STENERI, Roberto. Retrofir. Revista “Eficiencia Energética”. Sept. 2007.



#### 4.7. CASOS ANÁLOGOS: REHABILITACIÓN CON SCSA

Conforme a la clasificación de SCSA de acuerdo a la ubicación del colector en la envolvente, se han recopilado una decena de casos análogos que figuran como casos destacados en el ámbito europeo, latinoamericano rural y de vanguardia oriental. Cada uno de los casos seleccionados, está regido por su aportación principal: rehabilitar un inmueble en su aspecto térmico y estético. Los ejemplos a continuación descritos, tienen un carácter habitacional, no importando si tienen el adjetivo de unifamiliar o plurifamiliar. Así mismo, se han incorporado dos proyectos muy particulares que aunque no responden al concepto de rehabilitación térmica, son propuestas o prototipos, que tienen conceptos arquitectónicos bien integrados y están respaldadas por instituciones de enorme prestigio y que bien valen la pena incluirlos; tal es el caso de la vivienda bioclimática en Argentina y el Prototipo Alfa que participó en el Solar Decathlon, concurso organizado por el Departamento de Energía de EE.UU. para universidades de todo el mundo, que consiste en diseñar y construir un prototipo de vivienda autosuficiente energéticamente, y dotado de todas las tecnologías que permitan la máxima eficiencia energética. También se han incluido casos análogos que aluden principalmente a las innovaciones en aislantes térmicos o contenedores de energía térmica como lo son el caso del prototipo alfa y el Albergue juvenil de Thomas Herzog.

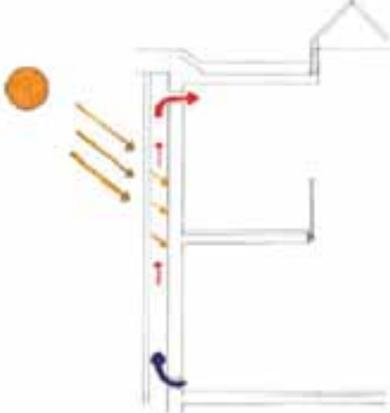
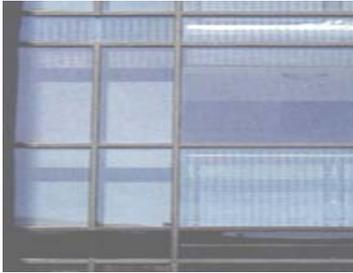
La forma en que pueden leerse las fichas de cada uno de los casos es la siguiente: Se cuenta con un formato que encabeza la página, donde se lee en el primer renglón el nombre con el se reconoce al proyecto, y bajo del cuál se hallan los datos más relevantes, donde se especifica el tipo de SCSA y que se refiere a calefacción integrada por fachadas, techos o invernaderos. Se menciona la tecnología empleada que es descrita con precisión en el capítulo 5, y el tipo de colector que se utiliza, donde solo hay dos opciones: por dispositivo o por envolvente. Bajo esta información, se han colocado las imágenes más representativas y una breve descripción que muestra la principal aportación del proyecto a este documento. Se hace la distinción del tipo de colector conforme a la clasificación del capítulo 4, y el tipo de colector como envolvente y dispositivo. Se ha generado una tabla comparativa de los casos análogos que a continuación se integra:

Proyecto	País	°C	Tecnología	Tipo de SCSA	Tipo de colector
Big Heimbau	Alemania	6	Muro trombe	Por fachada	Por envolvente
Gardsten	Suecia	9	Sollar wall	Por techo	Por envolvente
Brandaris	P.Bajos	11	Invernadero	Por invernadero	Por envolvente
Chatelet 3	Francia	14	Balcón invernadero	Por invernadero	Por envolvente
Frei house	Alemania	8	Espacio solar	Por invernadero	Por envolvente
Casa Hamamatsu	Japón	10	OM Solar	Por techo	Por envolvente
Viv.bioclimática	Argentina	0	Muro trombe y colector	Por techo/fachada	Por envolvente
Alfa Madrid	España	---	Muro trombe	Por fachada	Por envolvente
Baricloche House	Argentina	15	invernadero	Por invernadero	Por envolvente

Tabla 10. Listado comparativo de casos análogos

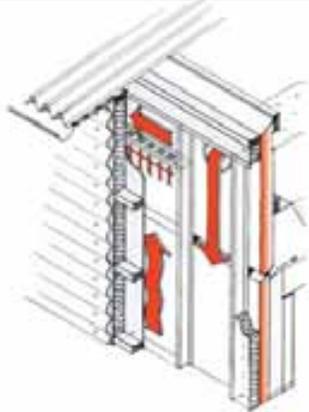


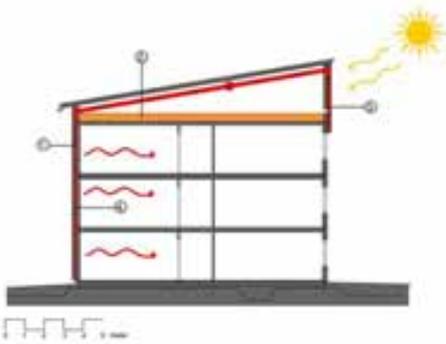
Nombre del proyecto:	<b>BIG HEIMBAU</b>		
Lugar:	Flensburg	País:	Alemania
Latitud:	52° 31' N	Longitud:	13° 24' E
Altitud:	12 msnm	Tempe. media:	6 °C
Diseñadores:	Stærmose & Isager K/S		
Fecha de construcción:	1966	Renovación:	1998
Tipo de edificio:	Departamentos	Orientación:	Norte -sur
Tipo de SCSA:	Por fachada	Tipo de colector:	Envolvente
Tecnología empleada:	Muro Trombe		

Localización en edificio: Sur	Detalle constructivo:
 <p>Vista exterior, y localización de unidad colectora en cubo de escaleras donde se intersectan los dos volúmenes del edificio de apartamentos.</p>	 <p>Diagrama de funcionamiento de la unidad colectora aplicada en fachada de cubo de escaleras.</p>
 <p>Imagen del cubo de escaleras y acceso principal.</p>	 <p>Imagen del detalle de unidad colectora</p>

**Descripción:**  
 El aire frío entra en el muro Trombe por debajo y es calentado cuando pasa por la superficie absorbidora negra. Dos pisos más arriba en aire entra en la zona de escalera. Como la escalera es un espacio abierto y detrás de las ventanas hay un vestíbulo de dos plantas también abierto, se asegura una buena distribución del aire procedente del muro Trombe. Durante el verano el aire interior del muro queda encerrado para evitar

sobrecalentamientos.			
Nombre del proyecto:	<b>GARDSTEN</b>		
Lugar:	Göteborg	País:	Suecia
Latitud:	57°42'N	Longitud:	11°58' E
Altitud:	155 msnm	Temp. media:	9 °C
Diseñadores:	CNA - Christer Nordström		
Fecha de construcción:	1970	Renovación:	2000
Tipo de edificio:	Departamentos	Temp. alcanzada:	
Tipo de SCSA:	Por techo	Tipo de colector:	Dispositivo-envolvente
Tecnología empleada:	Solarwall (ABB/Sun Lab)		

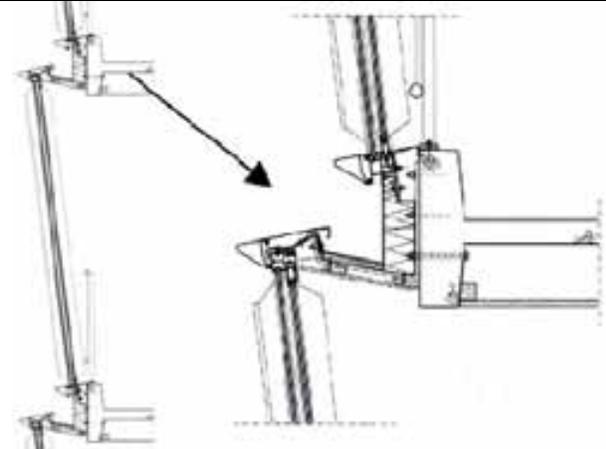
Localización en edificio: Este	Detalle constructivo:
 <p>Localización de colector solar de aire en zona superior del edificio. Fachada sur</p>	 <p>Diagrama de funcionamiento del muro norte, para suministrar aire caliente a la cruja posterior del edificio carente de insulación.</p>

 <p>Imagen general del edificio, mostrando la intervención e integración de la unidad colectora en techo, usando mismos materiales mimetizando así la intervención.</p>	 <p>Diagrama de funcionamiento (corte transversal) donde se observa el transporte de calor desde el techo hasta muros de fachada norte como elementos de transferencia de calor.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Descripción:**  
 Añadiendo una nueva piel de aislamiento alrededor del edificio, cubierta por láminas de fibrocemento, se consigue crear una doble piel en las fachadas este, norte y oeste, dejando un espacio abierto en la antigua fachada, por donde el aire procedente de los colectores es transportado. El techo plano existente se ha reconvertido en un techo inclinado con

colectores solares prefabricados integrados y con aislamiento extra.

Nombre del proyecto:	<b>BRANDARIS</b>		
Lugar:	Zaandam, Amsterdam	País:	Países Bajos
Latitud:	52°26' N	Longitud:	4°50' E
Altitud:	-18 msnm	Tem. media:	11° C
Diseñadores:	Hans van Heeswijk y W/E consultants sustainable building		
Fecha construcción:		Renovación:	1998
Tipo de edificio:	Departamentos	Temp.alcanzada:	+ 4 °C
Tipo de SCSA:	Por invernadero	Tipo de colector:	Envolvente
Tecnología empleada:	Invernadero separado de la estructura principal por mecanismos de apertura como ventanas y puertas acristaladas.		

Localización en edificio: Este	Detalle constructivo:
 <p>imagen general del edificio, fachada este.</p>	 <p>Detalles constructivos de muro cortina acristalado colocado en balcones</p>

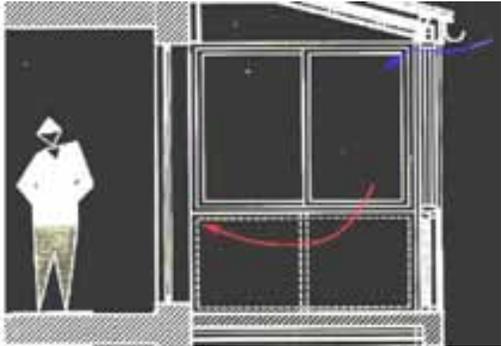
 <p>Esquema muro cortina acristalado colocado en balcón</p>	 <p>Imagen de detalle de acristalamiento en balcones</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Descripción:**  
 El vidrio en la nueva fachada es simple. Mientras la puerta corrediza grande está cerrada la fachada tiene una abertura permanente de aproximadamente 1000 cm<sup>2</sup>. Una pequeña parte de esta área está situada en la parte inferior del marco, mientras la mayoría de esta área es creada de forma camuflada.



Calefacción solar por aire

Nombre del proyecto:	<b>CHATELET 3</b>		
Lugar:	Grenoble	País:	Francia
Latitud:	45°11' N	Longitud:	5°43' E
Altitud:	212 msnm	Tem. ambiente:	14 °C
Diseñadores:	JAURÉ S. Architect y ArchiMEDES		
Fecha construcción:		Renovación:	1998
Tipo de edificio:	Departamentos	Temp. alcanzada:	+4 °C
Tipo de SCSA:	Por invernadero	Tipo de colector:	Envolvente
Tecnología empleada:	Balcón tipo invernadero		

Localización en edificio: Este	Detalle constructivo:
 <p>Localización de espacios solares creados en balcones</p>	 <p>Esquema de funcionamiento de suministro de aire por medio de espacio solar</p>

 <p>imagen del edificio previo a su intervención.</p>	 <p>Imagen actual de la entrada principal al edificio de apartamentos.</p>	 <p>Detalle de espacio solar</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Descripción:

El espacio acristalado solar añadido a las fachadas este y oeste del edificio, consiguiendo 7 m<sup>2</sup> extras de espació para ser utilizados en ciertas épocas del año. Estos están alineados verticalmente en una nueva estructura de hormigón, con marcos de aluminio y cristal simple. Este espació sirve de espacio tampón en invierno, pudiendo abrir ampliamente los cristales en verano para evitar el sobrecalentamiento. Los paneles inferiores de la estructura del espacio solar son de madera, rellenos con aislamiento de lana mineral, cubiertos exteriormente por una hoja de aluminio.



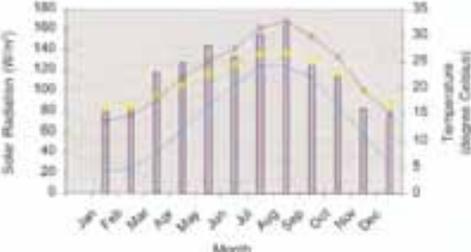
Nombre del proyecto:	<b>Frei House</b>		
Lugar:	Vorarlberg	País:	Alemania
Latitud:	47° 43 ' N	Longitud:	9° 7' W
Altitud:	418 msnm	Temp. Ambiente:	8.2 °C
Diseñadores:	Solarsen		
Fecha construcción:	Desconocida	Renovación:	1995-1996
Tipo de edificio:	Habitacional	Tem. Alcanzada:	
Tipo de SCSA:	Por invernadero	Tipo de colector:	Envolvente
Tecnología empleada:	Espacio solar añadido a zonas de estar, almacenamiento por rocas		

Localización en edificio: Sur	Detalle constructivo:
 <p>Localización de invernadero adosado a vivienda en fachada sur.</p>	 <p>Planta arquitectónica donde se aprecia en área gris el invernadero adosado.</p>



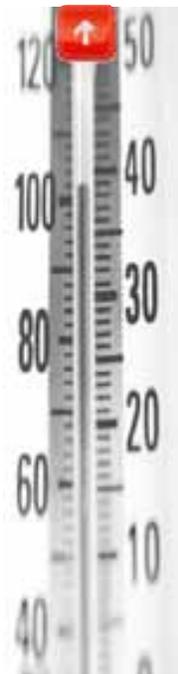
**Descripción:**  
 La casa incorpora un colector solar de aire, un almacenamiento de rocas sistemas de huecos para almacenar y distribuir el aire caliente. El sistema cuenta con el mínimo de equipo mecánico, simples controles y un solo aerocirculador (las válvulas de retención funcionan por sí mismas).

Nombre del proyecto:	<b>CASA EN HAMAMATSU</b>		
Lugar:	Hamamatsu	País:	Japón
Latitud:	34 ° N	Longitud:	137 ° E
Altitud:	31.7 msnm	Temp. media:	10 °C
Diseñadores:	Touchi Akimaya, Land. Architects Inc. OM solar		
Fecha de construcción:		Renovación:	1991
Tipo de edificio:	Habitacional	Temp. alcanzada:	+ 23 °C
Tipo de SCSA:	Por techo	Tipo de colector:	Envolvente-dispositivo
Tecnología empleada:	OM Solar		

<p>Localización en edificio: Sur</p>  <p>Localización de unidad colectora, aplicada en techo</p>	<p>Funcionamiento:</p>  <p>Al alcanzar 25°C el sensor se enciende y el ventilador comienza a trabajar</p> <p>Cubierta de vidrio</p> <p>Unidad manejadora de aire</p> <p>Salida aire viciado</p> <p>Techo metálico</p> <p>Aislamiento térmico</p> <p>Ingreso aire frío</p> <p>Almacenaje en concreto</p> <p>Tanque auxiliar de agua acumulador de energía térmica</p> <p>En invierno, cuando no se alcanza la temperatura deseada, el sistema auxiliar se enciende.</p>
 <p>Gráfica de radiación solar y temperatura promedio mensual de Hamamatsu, Japón</p>	

**Descripción:**

El sistema OM Solar colecta energía solar por el techo, transportando el aire caliente generado por muros para ser almacenado bajo suelo y ser suministrado por radiación al recinto. El sistema cuenta con una unidad manejadora de aire, que en verano tiene la función de expulsar el aire caliente al exterior. La casa cuenta con buen aislamiento térmico que complementa al sistema OM Solar, ya que sin este factor, el suministro de aire caliente se vería diezmado. Por otro lado, el proyecto incluye un tanque de agua a modo de sistema auxiliar de acumulación de energía térmica, ligado a un calentador convencional de agua, y se recurre a esto cuando en invierno no se alcanza la temperatura deseada.



Nombre del proyecto:	<b>Vivienda Bioclimática</b>		
Lugar:	Fofo Chachuel	País:	Argentina
Latitud:	41°6' S	Longitud:	71°17' W
Altitud:	1314 msnm	Temp. ambiente:	9 °C
Diseñadores:	Arq. Eduardo Muelle. Prog.soc.agropecuaria de Argentina		
Fecha construcción:	2006	Renovación:	Prototipo
Tipo de edificio:	Habitacional rural	Tem. alcanzada:	
Tipo de SCSA:	Por techo	Tipo de colector:	Por envolvente
Tecnología empleada:	Muro trombe Mitchel y Colector por techo (policarbonato negro)		

Localización en edificio:	Detalle constructivo:
<p>Vivienda bioclimática en construcción. Localización del sitio donde habrá de colocarse la unidad colectora.</p>	<p>A medida que avanza es calentado por el sol desplazándose hasta que ingresa a la casa.</p>

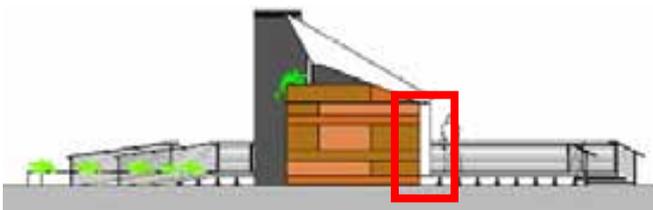
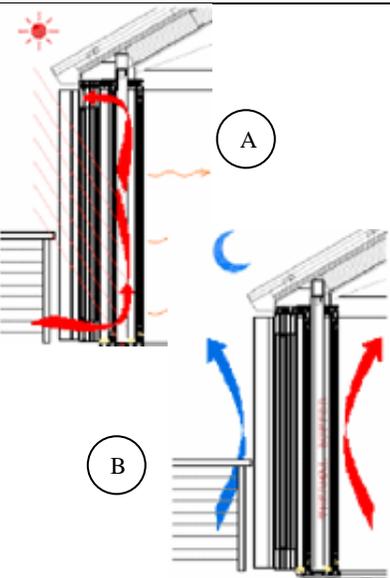
Modelo tridimensional que muestra el funcionamiento para el suministro de calor mediante la cubierta (1) y el muro trombe (2) como unidades colectoras.

**Descripción:**  
 En el paraje Fofo Cahuel, a 18 kilómetros de Cushamen (un pueblo de 600 habitantes en el noroeste de Chubut) se desarrolla el primer prototipo de vivienda bioclimática, que comenzó a construirse junto al grupo de productores Melí Piuqué.



Calefacción solar por aire

Nombre del proyecto:	<b>Prototipo ALFA (Madrid)</b>		
Lugar:	Madrid	País:	España
Latitud:	---	Longitud:	---
Altitud:	---	Temp. ambiente:	0°C
Diseñadores:	Universidad Politécnica de Madrid		
Fecha construcción:	2007	Renovación:	Prototipo
Tipo de edificio:	Casa industrializada	Tem. alcanzada:	
Tipo de SCSA:	Por fachada	Tipo de colector:	Por envolvente
Tecnología empleada:	Muro trombe Mitchel		

<p>Localización en edificio:</p>  <p>Localización de muro trombe en fachada sur de prototipo</p>  <p>Localización de muro trombe en alzado de la facha oeste.</p>	<p>Detalle constructivo:</p>  <p>Esquema de funcionamiento del muro como unidad colectora durante la fase diurna (A) y fase nocturna (B)</p>
 <p>Detalle de muro unidad colectora y acumulador de calor</p>	 <p>Vidrios electrocrómicos</p>

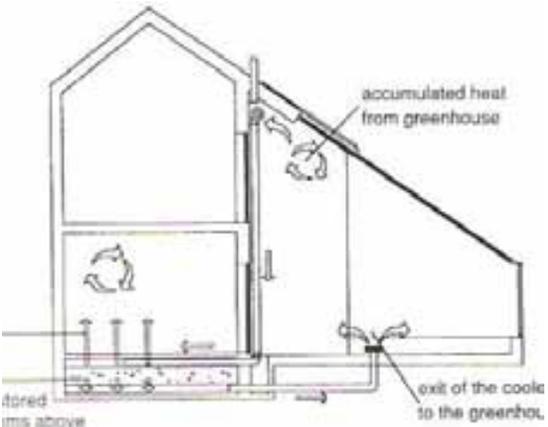
Descripción: El objetivo es la comercialización de viviendas 100% industrializadas con sistemas modulares tridimensionales eficientemente energéticas. La vivienda captura energía térmica mediante un muro trombe-mitchel, que combina un sistema de vidrios electrocrómicos (que bajo corriente eléctrica se vuelve opaco) activados por el sistema domótico, tanto para control visual, como para control de la radiación incidente cuando es verano, pero que deja pasar toda radiación en temporada de frío almacenando la energía térmica en un suelo técnico equipado con geles de cambio de fase, además de los microencapsulados de geles que está previsto incorporar a los acabados

interiores en la fase de experimentación.

Nombre del proyecto:	<b>BARILOCHE ECOHOUSE</b>		
Lugar:	Baricloche	País:	Argentina
Latitud:	41 ° S	Longitud:	71 ° W
Altitud:	1000 msnm	Temp. media:	15 °C
Diseñadores:	Claudio Delbene. Centro de Investigación de Hábitat y Energía		
Fecha de construcción:		Renovación:	
Tipo de edificio:	Habitacional	Temp. alcanzada:	+ 10 °C
Tipo de SCSA:	Por invernadero	Tipo de colector:	Envolvente
Tecnología empleada:	Muro Trombe, invernadero y cama de piedras		

Transmisión de calor por radiación

Aire frío de retorno

<p>Localización en edificio: Sur</p>  <p>Perspectiva de la vivienda Baricloche</p>	<p>Funcionamiento:</p>  <p>Corte transversal, esquema de funcionamiento</p>
 <p>Cama de piedras bajo recinto donde se realiza la entrega de aire caliente</p>	 <p>Planta arquitectónica de la vivienda</p>

**Descripción:**  
 Basado en Balcomb, se crearon dos camas de piedras de 12 m<sup>3</sup> con dos canales de aire cada uno de 6 metros de longitud y 0.8 m de profundidad. El aire caliente que hasta ahí llega, proviene la toma de aire en la zona superior de la estancia, donde unos sensores activan los aerocirculadores automáticamente. El sistema tiene capacidad para 1.5 días acumulando 21 kWh/d, con un flujo de aire de 0.7 m<sup>3</sup>/s. El área acristalada adosada y los muros trombe ubicados al ecuador, permiten proveer al inmueble de energía térmica para ser acumulada en el sistema.



Calefacción solar por aire

# 5. CATÁLOGO DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA SCSA

## 5.1. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

La transferencia de tecnología tradicionalmente se concibe como cualquier actividad que contribuye a que un agente se apropie de una tecnología a partir de los aportes de otro. Ésta definición supone, al menos, dos actores: uno que desarrolla la tecnología y otra que se la apropia. Se puede o no considerar la acción de un tercer actor quien mediaría en este proceso de apropiación, por medio de asesorías, capacitación, difusión, implementación, etcétera.

Rogers (1962) explica que un aspecto importante que hay que considerar en todo momento es que la tecnología es un medio y no un fin en sí misma. Cuando una tecnología forma parte de un proceso colectivo y participativo de producción social, tanto los fines (producto-proceso) como los medios (tecnología aplicada) deben ser discutidos y consensuados de manera conjunta entre los diversos actores involucrados. Indica que el proceso de transferencia es radicalmente distinto al de la imposición tecnológica. Ya que ésta última genera una dependencia de “los que no saben” hacia “los que sí saben” y no incorpora las capacidades y los conocimientos preexistentes en el lugar donde se aplica. La transferencia tecnológica se plantea como un proceso de generación, adaptación y transmisión colectiva de conocimientos que pretende obtener resultados permanentes y evolutivos. Sin embargo, la adopción de la tecnología tiene diversas dificultades. Al respecto, en la década de los años 60, E. Rogers (1962) -reconociendo múltiples tradiciones anteriores- se dispuso a sistematizar el conocimiento sobre el camino que las innovaciones seguían en su proceso de adopción. Para ello propuso observar, a partir del cúmulo de investigaciones existentes, las cinco características que permitían discutir por qué variaba el índice de adopción entre unas y otras<sup>56</sup>.

Estas características eran: a) ventaja relativa (si un bien es superior a otro por ser más eficaz, lo será en términos de los resultados que brinda y en un esquema valorativo donde el resultado sea el fin último para el sistema de valoración. Pero también podría ser superior por la regularidad en el funcionamiento, durabilidad, posibilidad de predicción mecánica o la combinación de varias de esas propiedades, entre otras, etc.); b) grado de compatibilidad la no concordancia de valores vigentes y presentes en el bien pueden ser determinantes para el rechazo, si se busca el paradigma dominante de referencia para comparar o no la adecuación de una innovación con su medio de recepción serán fundamentales los valores que antes asociáramos a la sociedad de mercado, industrialización y consumo); c) complejidad (innovación en cuanto al grado de dificultad que presenta para que se comprenda y use); d) divisibilidad (problema de la posibilidad de manipulación de lo que pueda adoptarse, en tanto pueda ser experimentado sobre una base limitada en el plano de lo tangible y mensurable); y e) observabilidad (comunicabilidad). Entendiendo por ello que toda innovación implicaba o no: a) cierta superioridad en relación a la que suplantaba, b) cierto reconocimiento y conciliabilidad con los valores y costumbres vigentes en el lugar, c) cierto grado de comprensión de funcionamiento y uso, d) cierta experiencia de manipulación previa, y e) cierta visibilidad de los resultados o consecuencias esperadas.

---

<sup>56</sup> ROGERS (op. cit.), capítulo 4, “Perceived attributes of innovations and their rate of adoption”. Para este trabajo se consultó la segunda edición de la obra: Rogers, E. & Shoemaker, F. (1971) *Communication of Innovations*. New York, London, The Free Press-Collier Macmillan Publishers.

## 5.2. PAPEL DEL ARQUITECTO

Las ingentes cantidades de energía que se gastan hoy a costa de fuentes de energía no renovables expresan simbólicamente la relación problemática entre arquitectura y tecnología que surgió durante la era industrial. Arquitectura y tecnología nunca se han desarrollado de forma independiente y los avances arquitectónicos siempre han estado supeditados a los desarrollos técnicos y de ingeniería. El consumo de energía depende en gran medida de las tecnologías utilizadas durante el proyecto, ejecución y mantenimiento del edificio. La decisión de emplear una u otra tecnología se basa en tres aspectos: las tecnologías de las cuales depende cuánta energía se necesita para el mantenimiento del edificio, qué tipo de energía se emplea y cómo se genera o se capta. Por eso, la manera en que se utilizará esta tecnología y se integrará en el proyecto arquitectónico es responsabilidad de arquitectos e ingenieros, quienes tienen la obligación de calcular previamente el consumo de energía y diseñar su apropiada integración en el edificio.

Impulsados por el deseo de concientizar a la comunidad de arquitectos a nivel mundial sobre la problemática ambiental y energética, y el rol de la arquitectura; entre 1995 y 1996, Thomas Herzog elaboró un documento titulado "Carta Europea de la energía solar en arquitectura y urbanismo"<sup>57</sup> en el contexto del proyecto READ (Renewable Energies in Architecture and Design), cuyo contenido fue discutido y acordado por un conjunto de destacados arquitectos europeos; y del cual se ha extraído información muy valiosa que hace referencia las características de esta investigación:

- Las ciudades, los edificios y sus partes integrantes deben interpretarse como un complejo sistema de flujos energéticos y materiales.
- El empleo de energías respetuosas con el medio ambiente tiene que planificarse desde un punto de vista integral. El conocimiento profesional de todas las relaciones funcionales, técnicas y proyectuales, así como de todas las condicionantes y posibilidades, son las premisas para el nacimiento de una arquitectura moderna.
- Se debe presentar de forma sistemática, concisa, entendible y ampliable, el extenso conocimiento de climatización de edificios, el desarrollo de la tecnología solar y las posibilidades de simulación, cálculo y medición.
- Las universidades y los colegios profesionales están obligados a desarrollar sistemas coordinados entre sí en diferentes niveles de arquitectos e ingenieros, cuando se empleen nuevos medios que se adapten a las nuevas necesidades.
- Para el acondicionamiento de los edificios, se deben hacer efectivos los recursos, sobre todos los solares, pero también de otras energías renovables que ofrece cada emplazamiento concreto.
- En cada caso se deben analizar y valorar como base de proyecto la situación local específica,[...] y dependiendo de los diversos patrones edificatorios existentes o nacientes entran en relación recíproca los distintos factores locales como: datos climáticos, grado de exposición y orientación de espacios abiertos y de la superficie del terreno, emplazamiento, geometría, dimensiones y volumetría del edificio mismo y colindantes, formaciones topográficas, recorridos de agua y vegetación, inercia térmica de la masa de tierra existente y de materiales constructivos, secuencia de movimiento de seres humanos y preexistencia de una cultura edificatoria y su patrimonio arquitectónico.

<sup>57</sup> BEHLING, Sophia y Stefan. Sol Power. GG. P.p.236-237



- Deben tener preferencia las materias primas renovables y disponibles en cantidades suficientes.
- Se debe garantizar la inclusión de los materiales en sus respectivos ciclos de vida, la posibilidad de su reutilización o su eliminación soportable para el medio ambiente.
- Deben tener prioridad de uso [...] aquellos elementos del edificio, que activa o pasivamente, contribuyan al aprovechamiento de la energía solar y permitan su integración constructiva según exigencias formales, modulares constructivas y dimensionales.
- Los nuevos sistemas y productos en el campo de la energía y la tecnología de la construcción deben poder integrarse en el edificio, reemplazar partes existentes o renovarse fácilmente.
- En términos de balance energético, los edificios deben considerarse como sistemas globales que aprovechen óptimamente energías renovables para sus múltiples necesidades.
- Las funciones deben ordenarse tanto en planta como en sección, de forma que puedan tenerse en cuenta las graduaciones de temperatura y las zonas térmicas.
- La permeabilidad a la luz, al calor, al aire y a la vista de la piel de un edificio, deben estar sujetos a posibles modificaciones y ser controlables de forma precisa para poder reaccionar ante las condiciones climáticas cambiantes locales.
- Las exigencias de confort, deben satisfacerse en lo posible a través del propio edificio y de medidas pasivas eficientes. Los sistemas activos que aprovechen energías renovables deben cubrir las demandas restantes de calefacción, refrigeración, electricidad, ventilación e iluminación.
- El gasto energético y técnico debe ser proporcional a cada uso específico del edificio.
- La relación entre ciudad y naturaleza se debe desarrollar simbióticamente; cualquier modificación que se lleve a cabo en el espacio público o en edificios existentes debe tener en cuenta tanto la identidad cultural e histórica del lugar como las condiciones geográficas y climáticas de su entorno.

En la tercera conferencia de energía solar en arquitectura y urbanismo que se celebró en 1993 en Florencia, Norman Foster entonces presidente del READ<sup>58</sup>, explicó: “Ha llegado el momento de redefinir la arquitectura para el próximo milenio: 1. Para nuestra especie y civilización, y para mantener una relación sostenible con la tierra, nuestras actividades, incluida nuestra arquitectura, deben estar en armonía con los ciclos naturales, ritmos y recursos. 2. El actual saber y preparación de los arquitectos pueden alcanzar estas condiciones dentro de la situación económica actual [...] con políticas adecuadas basados en térmicos racionales más amplios y duraderos. 3. Dado que la energía solar es el recurso más fundamental que nutre a todos los ciclos naturales y sistemas vivos, es obvio que la arquitectura solar no es sólo la necesaria respuesta sino el más prometedor futuro. 4. Como arquitectos debemos asumir responsabilidades en nuestro arte y en nuestras políticas, a aprender de la experiencia y conocimientos de compañeros de otras disciplinas.” Las tecnologías de la energía renovable incrementarán cada vez más su competitividad frente a las tecnologías energéticas tradicionales en las siguientes décadas, gracias a la mejoría continua en su rendimiento y costo, así como al

---

<sup>58</sup> El grupo READ se fundó en 1992 gracias a la iniciativa del Dr. Wolfgang Palz y de la Comisión Europea, Dirección General DG XII de Ciencia, Investigación y Desarrollo. Entre sus miembros destacan: Norman Foster, Richard Rogers, Thomas Herzog, Renzo Piano y Norbert Kaiser. A este grupo pertenecen arquitectos, diseñadores e ingenieros que han unido sus fuerzas con la finalidad de promover las directrices de una arquitectura solar sostenible.

cada vez mayor reconocimiento de sus ventajas ambientales, económicas y sociales, de suerte que para mediados del siglo XXI, la energía renovable, en sus distintas formas, estaría satisfaciendo la mitad de las necesidades energéticas del mundo<sup>59</sup>.

“Para los arquitectos preocupados por su papel potencialmente marginado en una industria de construcción cada vez más compleja y especializada, esto representa un reto inevitable. El papel holístico de los arquitectos les coloca en una posición especial en la que se unen aspectos técnicos y estéticos de la construcción. Una concienzuda combinación de ambos aspectos es esencial para asegurar el éxito de la arquitectura sostenible. Ésta nueva búsqueda de soluciones es extremadamente ambiciosa ya que significa más cantidad de trabajo para las personas implicadas. El cambio y el diseño complejo implican siempre más trabajo si quieren resolverse con éxito. Los arquitectos no pueden trabajar aisladamente sino que el trabajo en grupo es esencial en colaboración con otros planificadores, climatólogos, sociólogos, geógrafos, etc., como también con los habitantes sin olvidar a los clientes. Llevar a cabo grandes cambios en esta extensa y compleja red de personas y organizaciones requiere determinación y buena orquestación. No es una tarea fácil, pero sí vital. Tenemos las herramientas, tenemos la tecnología; en nuestras manos tenemos la posibilidad de hacer funcionar estos nuevos sistemas<sup>60</sup>.”

El mundo de la Arquitectura debe pensar seriamente en un pronóstico para la adecuación de sus sistemas educativos a las nuevas tendencias tecnológicas, para la sustitución de pensamientos e ideologías que se han convertido en obsoletas considerando el avance agigantado de la tecnología, como por ejemplo el concreto transparente, el desarrollo de un material que sustituirá por su mejor resistencia al acero, las fibras de carbono, la nanotecnología, la tecnología del vidrio, los estudios bioclimáticos, arquitectura 100% sustentable, materiales térmicos, ahorro de energía y generación de la misma, cableado estructurado.... En fin existe una lista interminable de factores a considerar que afectan directamente la arquitectura y que de no poner atención, arquitectos e ingenieros de primer mundo nos rebasaran en diseño con gran facilidad debido a que se encuentran en constante contacto para actualizar sus conocimientos lo que conlleva a un desarrollo social. Al respecto, nuestra visión de la Arquitectura debe de estar acompañada no solo de aquella sensibilidad necesaria para crear objetos arquitectónicos sino también de bases científicas (termodinámica, electricidad, hidráulica, etc...) que permitan adquirir una concepción integral de cómo funciona un edificio en su forma estética, simbólica, espacial, social y tecnológica. Es tan necesario que un arquitecto sepa de geometría como de física, de matemáticas como de representación gráfica, de arte como de tecnología; porque justamente es lo que hace tan especial a esta profesión, su mezcla armónica entre las Artes, las Humanidades y las Ingenierías.

Considero que los arquitectos mexicanos no sólo deben de considerar el diseño conceptual del edificio y posteriormente delegar a otros el equipamiento del inmueble produciendo injertos en el proyecto que el mismo arquitecto detesta; por eso propongo reformar la idea del diseño limitado del arquitecto en la estética y función espacial; yo invito a involucramos en la parte tecnológica de los edificios, como un saber propio de un arquitecto. Para entonces sí, producir edificios realmente inteligentes.

<sup>59</sup> Agencia Internacional de Energía (AIE), Grupo de trabajo sobre Energía Renovable. Abril, 2001

<sup>60</sup> BEHLING, Sophia y Stefan. Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible. READ. GG. Barcelona, 2002. P.p. 236-237



### 5.3. CATÁLOGO

Este capítulo está dedicado a generar un catálogo de las propuestas tecnológicas más recientes, que destaquen por su integración estética, por su autonomía de operación y/o de energía no renovable, por su economía o por su facilidad de aplicación. Cada una de estos equipos tecnológicos, ha sido sin embargo, seleccionada porque están respaldadas por instituciones u organizaciones de gran prestigio a nivel mundial, que por tanto tienen detrás de esa garantía institucional un sinnúmero de pruebas de laboratorio y campo que aseguran la viabilidad de utilizar esta tecnología. Entre las principales instituciones que avalan la eficacia de estos sistemas se encuentran: American Solar Energy Society (ASES), the European Solar Thermal Industry (ESTIF), the Canadian Solar Industries Association (CanSIA), the Solar Energy Industries Association (SEIA), U.S. Green Building Council (USGBC), U.S. Department of Energy, Centre Énergétique et Procédés de l'École des Mines de Paris en Francia y Retscreen International de Canadá.

Hasta el momento, en México no existe alguna institución que avale la eficacia de productos de estas características, sin embargo, CIE (Centro de Investigación en Energía de la UNAM) funge como un organismo de prestigio que mediante especialistas en el campo puede realizar pruebas y generar información certera del funcionamiento y eficiencia de todo aquel sistema o producto que estén relacionados con el aprovechamiento de energía; además existe la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), que hasta el momento ha sido un polo para los especialistas en el tema. Por otro lado, existen empresas líderes en el ramo reconocidas por distribuir productos de alta calidad, y que han sido enlistadas en un documento publicado por CAMELIA<sup>61</sup>. A esta lista se ha incluido el tipo de tecnología que manejan respecto a SCSA, su eficiencia y el tipo de colector.

EMPRESA	País	Producto	Tipo SCSA	Tipo de colector
Grammer	Alemania	Twin solar	Por techo	Dispositivo
Conserval Engineering Inc.	Canada	Solar wall	Por fachada	Envolvente
Cansolair Inc.	Canada	Cansolair	Por fachada	Dispositivo
Matrix energy	Canada	Matrix air	Por fachada	Envolvente
American Solar Roof Co.	USA	Solar roofing tile	Por techo	Envolvente
Om Solar	Japón	Om solar roof	Por techo	Envolvente
Alternative Fuels & Energy (AFE)	Alemania	Watergy	Por invernadero	Envolvente
TIM			Por fachada	Material
Muro Trombe-Mitchel	USA		Por fachada	Envolvente

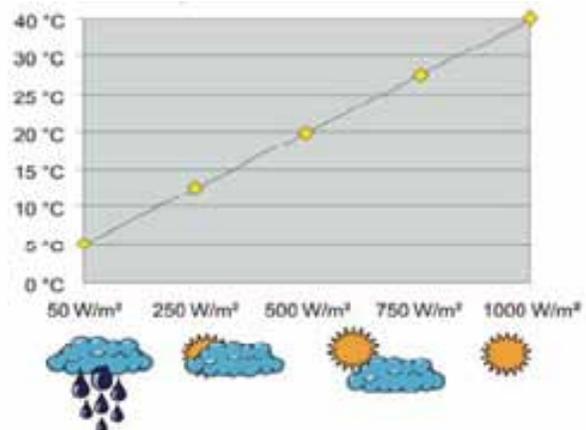
Tabla 11. Comparativa de tecnologías por país, marca, tipo de SCSA y tipo de colector

<sup>61</sup> Tabla del documento publicado por CAMELIA (Concerted Action Multigeneration Energy Systems with Locally Integrated Applications).

## 5.4. TWIN SOLAR 2.0

Nombre de la tecnología:	SLK - TWIN SOLAR 2.0 <sup>62</sup>		
País de origen:	Alemania	Empresa:	Grammer Solar
Inventor:	Arsenal research a-wien, ise d-freiburg	Año invención:	1998
Tipo de colector:	Dispositivo	Acumulador:	NO
Costo en dólares:	\$2637.00 (may 2008)	Eficiencia:	70%
Edificio de aplicación:	Hab., comercial	Tipo de SCSA:	Por techo/por fachada
Área de aplicación:	Muros, techos y techos inclinados.	Temp. suministro:	5°C a 50W/m <sup>2</sup> - 40°C a 1000 W/ m <sup>2</sup>
Peso:	45 kg	Flujo de aire:	120 m <sup>3</sup> /h
Dimensiones:	2.00 x 1.00 mts x 13.5 cm (2m <sup>2</sup> )		
Materiales	Carcasa de aluminio, vidrio de seguridad de 4 mm (resistente al granizo), absorbedor de aluminio de 6mm, módulos PV de silicio monocristalino, aislante de lana mineral de 50 mm (parte trasera) y 20mm (parte lateral),		

Sistema con colector de aire caliente para calefactar y ventilar con energía solar, sin conexión a la red general eléctrica. Los módulos PV, integrados en la entrada de aire del colector solar de aire caliente, generan la corriente eléctrica necesaria para el ventilador; el absorbedor se encarga de calentar el aire y los tubos de aire lo conducen donde se necesite. La regulación automática vigila que todos los componentes trabajen juntos. Tiene la facilidad de interconectar varios módulos conforme a la demanda de aire caliente mediante la estructura del TopSolar, cuyas características de dimensión y funcionamiento son iguales al Twin solar pero sin módulo fotovoltaico.



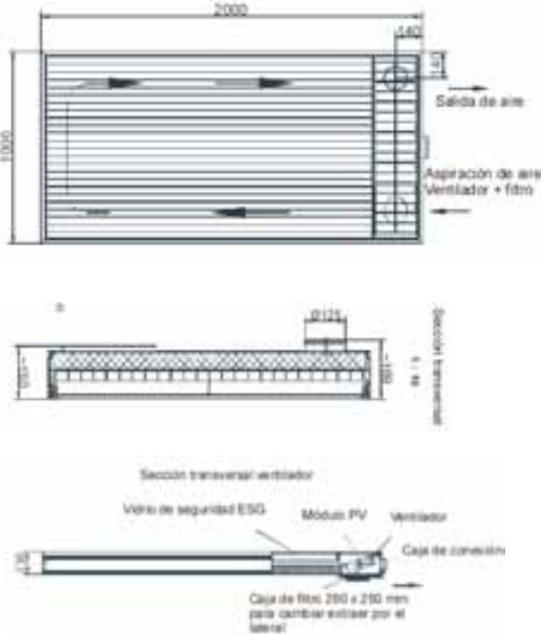
Un inmueble con buen aislamiento térmico puede ser calentado con 1m<sup>2</sup> de colector hasta 15 m<sup>2</sup>. Como alternativa al funcionamiento directo con aire del exterior, se puede aspirar también aire desde el interior del edificio (recirculación) o mezclado con aire fresco del exterior, pasándolo a través de una caja de filtro externa, que le aporta la característica de versátil, por poder emplearse en invierno como colector solar que suministra aire caliente y en verano como chimenea solar<sup>63</sup> que extrae aire caliente.

- Colector de aire caliente
- Módulo PV y caja de conexión, integrados en el colector
- Ventilador incluyendo electrónica de adaptación
- Regulación TWINSOLAR Control (modelo TWIN 2.0 con termostato)
- Filtro de aire con marco extraíble, integrado en el colector

<sup>62</sup>Grammer Solar. Twinsolar. <http://www.grammer-solar.es/gssl/index.shtml> (ref. mayo, 2007)

<sup>63</sup> En su forma más simple, una chimenea solar consiste en una chimenea pintada de negro. Durante el día la energía solar calienta la chimenea y el aire dentro de ella, creando una corriente de aire ascendente en la chimenea.

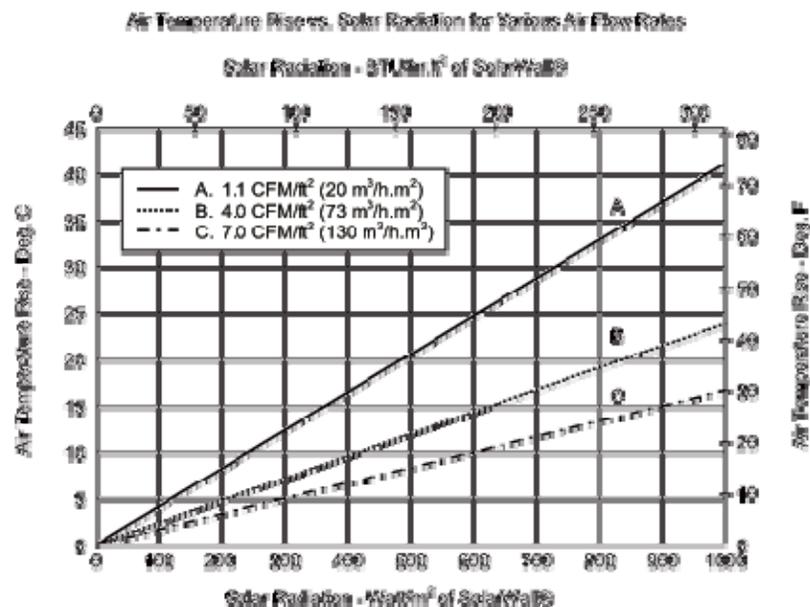


<p>Localización en edificio:</p> 	<p>Detalle constructivo:</p> 
<p>Dimensiones:</p> 	<p>Imágenes:</p>  <p>Twin solar 2.0</p> <p>Parte trasera del dispositivo donde se observa el filtro previo al suministro de aire</p>

## 5.5. SOLAR WALL

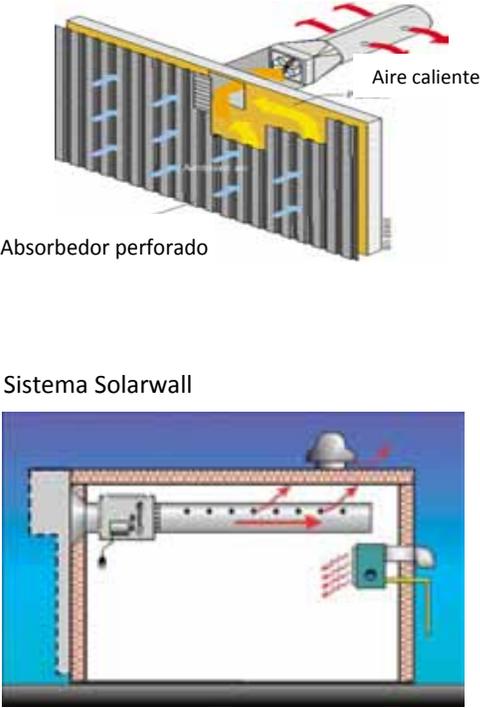
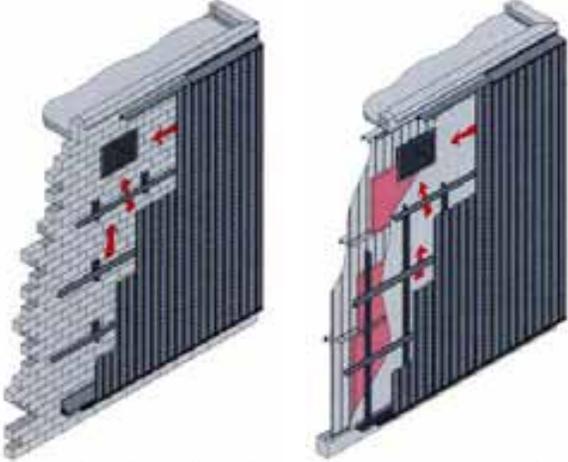
Nombre de la tecnología:	<b>SOLAR WALL<sup>64</sup></b>		
País de origen:	Canadá	Empresa:	Conserval Engineering
Inventor:	Hollick, John C. y Peter, Rolf W.	Año invención:	1985
Inst. que avala:	Retscreen, ASES, ESTIF, SEIA, USGBC.	Recup. Inversión:	6 años
Tipo de colector:	Envolvente	Acumulador:	No
Costo en dólares:	\$15.00/m <sup>2</sup> aprox.	Eficiencia:	75%
Edificio de aplicación:	Comercial, industrial e institucional	Tipo de SCSA:	Por techo/por fachada
Área de aplicación:	Fachada, techo y techo inclinado	Temp. suministro:	+ 16 °C
Peso:	1.7kg/m <sup>2</sup>	Flujo de aire:	130 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Dimensiones:	2 x8 ft		
Materiales	Metal o aluminio		

Un sistema de calefacción por energía solar SOLARWALL® está basado en un revestimiento metálico (aluminio o acero) que es instalado en la cara sur del edificio. El sistema opera cuando el revestimiento metálico de color oscuro es calentado por radiación solar, los ventiladores localizados en la parte superior del muro crean una presión negativa en la cavidad entre el revestimiento y la pared y el aire externo es succionado a través de los pequeños hoyos de SOLARWALL® y es calentado por los paneles metálicos; en ese momento, el aire se eleva en la cavidad debido al efecto chimenea donde es recolectado en un compartimiento diseñado para tal fin, el aire tibio entrante es conducido al ventilador más cercano y aire fresco y tibio es distribuido a través del edificio. El sistema también reduce pérdidas de calor del edificio durante el invierno, por convertirse en un muro aislante por comprender una cámara de aire que tiene bajo nivel de conductividad. Todos los edificios pierden calor hacia el exterior. En la pared cara-sur, las pérdidas de calor entre los paneles y el edificio son capturadas por el aire entrante y regresadas al edificio junto con el aire fresco calentado por SOLARWALL®. Incluso en la noche, SOLARWALL® actúa para reducir las pérdidas de energía.



<sup>64</sup> Solarwall. <http://solarwall.com/en/home.php>



<p>Localización en el edificio:</p> 	<p>Detalle constructivo:</p>  <p>Aire caliente</p> <p>Absorbedor perforado</p> <p>Sistema Solarwall</p> <p>Corte longitudinal, que muestra forma de ventilación</p>
<p>Imagen (tecnología a detalle):</p>  <p>Detalle de placa absorbidora</p>	<p>Imágenes:</p>  <p>Panel solarwall sobre una construcción de mampostería (izq.) y sobre una construcción metálica (der.)</p>

## 5.6. CANSOLAIR

Nombre de la tecnología:	CANSOLAIR RA 240 SOLAR MAX <sup>65</sup>		
País de origen:	Canadá	Empresa:	Rochester solar Tech, Inc.
Inventor:	James Meaney	Año invención:	1994
Inst. que avala:	Natural Resources of Canada	Recup. Inversión:	4 -6 años
Tipo de colector:	Dispositivo	Acumulador:	No
Costo en dólares:	\$600 -\$1400	Eficiencia:	30%
Edificio de aplicación:	Habitacional	Tipo de SCSA:	Por fachada
Área de aplicación:	Muro	Temp. suministro:	+17°C
Peso:	43 kg	Flujo de aire:	3 m <sup>3</sup> /min/h
Dimensiones:	1.22 x 2.44 mts (2.6 m <sup>2</sup> )		
Materiales	240 latas de aluminio, cubierta transparente de policarbonato		

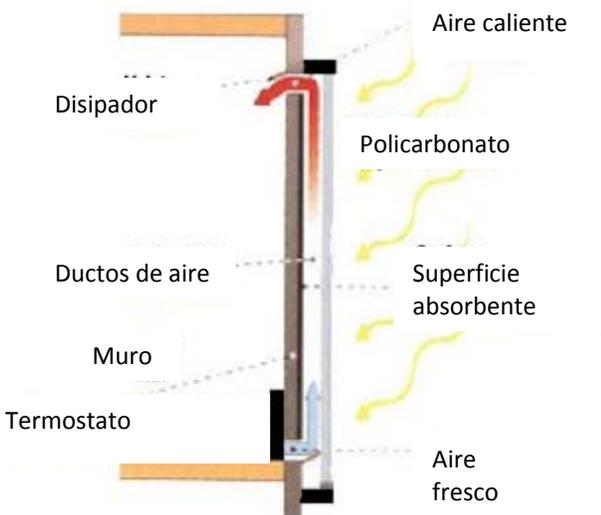
La unidad es montada en muros exteriores que capturan la energía solar que atraviesa la placa transparente y llega hasta las 15 columnas de latas de aluminio interconectadas en circuito hasta un ventilador eléctrico que envía al aire caliente hasta el recinto. Para periodos con completo soleamiento solo se requiere de 3 m<sup>3</sup>/min/h para calentar un espacio de 45 m<sup>3</sup> con cambios de aire cada 9 minutos. El sistema consiste en 240 latas de aluminio pintadas de negro dispuestas en columnas verticales, haciendo las veces de absorbedor y debido a su forma cilíndrica el ángulo de incidencia solar que capta es muy amplio. Tiene una respuesta de 8 minutos una vez que se expone a los rayos solares.

Cuando el aire ingresa por el RA240 solar max por la base del mismo, se disipa por interior de las latas, y debido a que el aire es movido, éste se calienta continuamente. Una vez que el aire alcanza la parte superior del dispositivo, es entonces enviado al inmueble como aire de calefacción. El aire caliente que llega a la superficie inferior del techo del recinto es removido a la zona inferior creando un intercambio de aire, cuyo proceso toma 90 minutos aproximadamente.

La apariencia estética de este sistema tiene muy poco valor, porque simplemente es un dispositivo que se adiciona a la envolvente del edificio impactando inevitablemente la estética, ya que resulta muy difícil ocultar el sistema que mide 1.22 x 2.44 metros. Sin embargo, la aportación radica en el uso de materiales reciclables de relativa fácil obtención, que bien puede bajar costos, y que dependiendo de la situación particular del inmueble a reacondicionar térmicamente, bien puede implementarse el sistema como parte del edificio desmembrando esta placa de gran tamaño en bandas de latas en sentido vertical u horizontal y que atienden la composición del edificio y no están limitadas por las dimensiones de la carcasa.

<sup>65</sup> CANSOLAIR. <http://www.cansolair.com/>



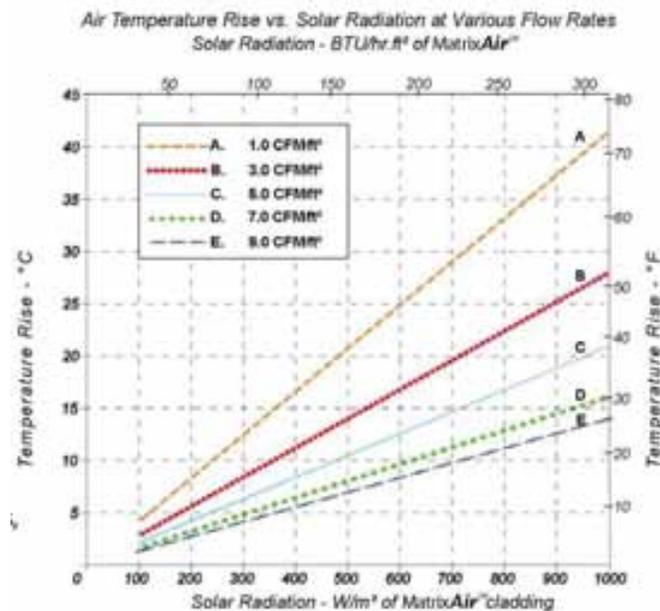
Localización en edificio:	Detalle constructivo:
 <p data-bbox="235 661 500 697">Newfoundland, Canadá</p>	 <p data-bbox="763 871 1169 907">Diagrama general (corte transversal)</p>
 <p data-bbox="235 1039 438 1075">Ontario, Canadá</p>	<p data-bbox="755 955 885 991">Imágenes:</p>
 <p data-bbox="235 1501 341 1537">Canadá</p>	 <p data-bbox="763 1606 1347 1642">Dispositivo Cansolair, vista frontal (izq.) lateral (der.)</p>

## 5.7. MATRIX AIR

Nombre de la tecnología:	MATRIX AIR <sup>66</sup>		
País de origen:	Canadá	Empresa:	Matrix Energy
Inventor:	Matrix Energy	Año invención:	1984
Inst. que avala:	US Dept. of Energy/Retscreen	Recup. Inversión:	6-7 años
Tipo de colector:	Envolvente	Acumulador:	No
Costo en dólares:		Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Comercial, industrial e institucional	Tipo de SCSA:	Por fachada
Área de aplicación:	Muros	Temp. suministro:	+13°C hasta +20°C
Peso:	1.7kg/m <sup>2</sup>	Flujo de aire:	73 m <sup>3</sup> /h/min
Dimensiones:	Láminas de 90 cm de ancho		
Materiales	Lámina de acero galvanizado ca 24-26, o lámina de aluminio 0.032mm; perforadas en negro o café oscuro.		

Aunque los componentes del sistema pueden variar dependiendo del flujo de aire y de la forma estética requerida, un sistema Matrix air puede operar simplemente con un absorbedor metálico. Sin embargo, el sistema opera típicamente con una envolvente metálica perforada, ventiladores axiales o centrífugos, ductos perforados de metal o sintéticos y compuertas para verano. El estilo y configuración del sistema tiene formas limitadas por el diseñador, edificio u operación mecánica.

Su gran parecido estético con el sistema Solar wall, hace pensar que resultan prácticamente el mismo sistema; sin embargo, la diferencia estriba en primer lugar en que la lámina es multiperforada y en que la distribución de calor de Matrix Air se realiza por la zona inferior. Es decir, el aire que es calentado por medio de las placas galvanizadas expuestas al sol es impulsado al interior del edificio por aerocirculadores que se hallan en la parte baja del muro Matriz Air, lo que produce cierto gasto energético adicional considerando que el aire caliente tiene la propiedad de ser menos denso y elevarse. A pesar de ello, tiene la ventaja por sobre el sistema Solarwall, en cuanto a confort térmico se trata, ya que debido al mismo efecto convectivo del aire, las zonas que se perciben más frías en un recinto son las bajas, por lo que este sistema atiende perfectamente las necesidades de confort térmico del usuario.



Calentación solar por aire

<sup>66</sup> Matrixair energy. <http://www.matrixenergy.ca>

Localización en edificio:



Sistema Matrixair aplicado a muro de fábrica canadiense



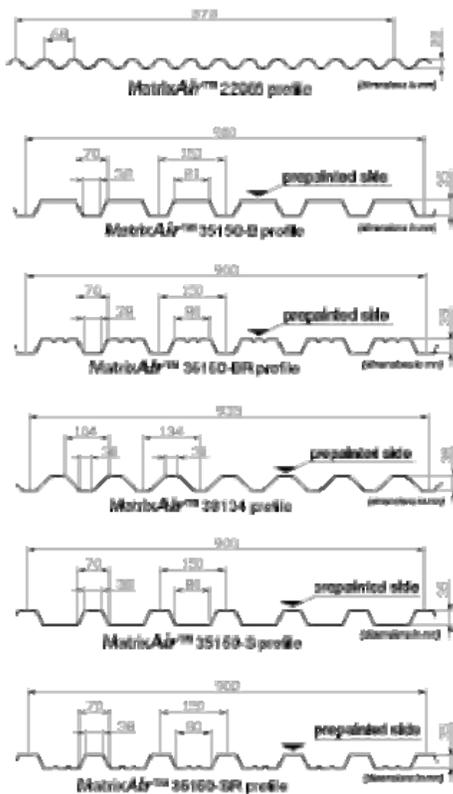
Detalle de perforaciones en placa absorbidora trabajando como chimenea solar

Detalle constructivo:

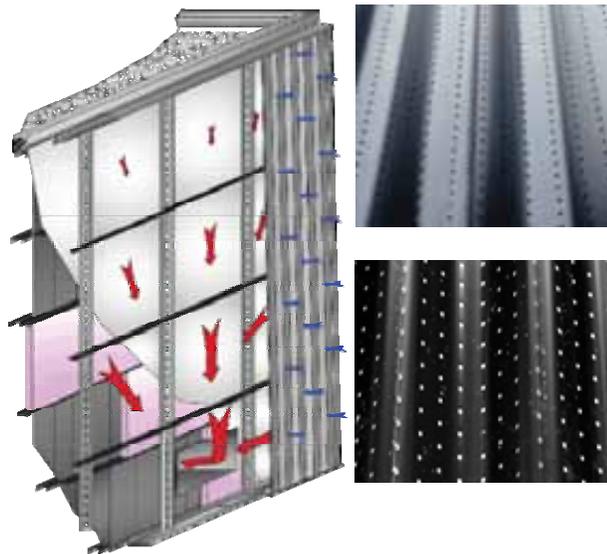


Esquema de funcionamiento en isométrico

Dimensiones:



Imágenes:



Esquema de funcionamiento con detalle constructivo (izq.). Detalle de lámina perforada en color gris oscuro (arriba) y color negro (abajo).

## 5.8. SOLAR ROOFING TILE

Nombre de la tecnología:	SOLAR ROOFING TILE <sup>67</sup>		
País de origen:	EUA	Empresa:	American Solar Roofing Company
Inventor:	John Archibald	Año invención:	1997
Inst. que avala:	US Dep. of Energy	Recup. Inversión:	
Tipo de colector:	Dispositivo	Acumulador:	Tanque de agua
Costo en dólares:	\$7-12 ft <sup>2</sup>	Eficiencia:	30-40%
Edificio de aplicación:	Habitacional	Tipo de SCSA:	Por techo
Área de aplicación:	Techo	Temp. suministro:	+ 17 a 28 °C
Peso:	6 kg/m <sup>2</sup> (con estructura)	Flujo de aire:	.03 - .76 m <sup>3</sup> /min/m <sup>2</sup>
Dimensiones:			
Materiales:	Lámina de polímero corrugado		

Se trata de una teja translúcida que es instalada sobre cualquier techo, diseñado para tomar la dimensión y geometría del techo existente. Esta tecnología permite resistir los fenómenos meteorológicos comunes como lluvia, radiación solar y viento, asilando el inmueble del exterior mediante una cámara de aire que se forma debajo del sistema de tejas ya que las uniones con las tejas adyacentes forman canales de aire herméticos formados entre las tejas y el techo. Los canales permiten calentar el aire que por ahí circula por medio de la transferencia de calor del techo. Abriendo los canales de aire en la parte superior e inferior permiten al aire fluir por debajo y a través de los ductos hacia el recinto a calentar.

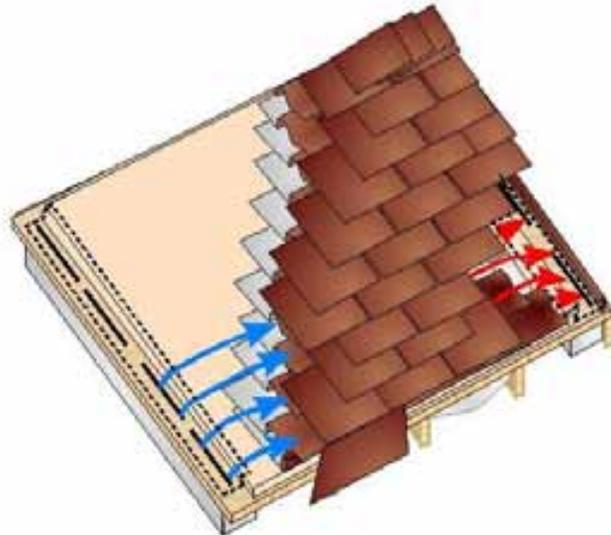
La instalación consta de las tejas solares translúcidas, absorbedor en techo color oscuro, materiales aislantes, ductos de aire, aerocirculador, termostato y compuerta. Para proveer de calor cuando el sol no está disponible, el sistema incorpora un acumulador como tanque de agua de 256 galones, el cual es calentado de forma híbrida usando el aire calentado por el sol a través del sistema de tejas y a través de las pérdidas de calor del edificio mismo. Cuando el termostato detecta una temperatura superior a la determinada para la cámara de aire bajo las tejas solares, y el generador no está trabajando, el aerocirculador es activado. El ventilador mueve el aire caliente desde la cámara de aire hasta el espacio a calentar, aire que puede ser reciclado y pasar de nuevo por el sistema de tejas solares.

El material con que están fabricadas estas tejas, tiene un periodo de vida muy extenso que reduce mantenimiento, reemplazo de piezas y reparaciones al techo por el nulo contacto que este tiene con la intemperie. Resulta además, una propuesta tecnológica de muy fácil aplicación por su facilidad de adaptación a las diversas configuraciones geométricas de los techos que puedan hacerse presentes en un edificio, pues para muchos propietarios la imagen de un inmueble es la consideración primaria en el momento de seleccionar sistemas de calefacción.

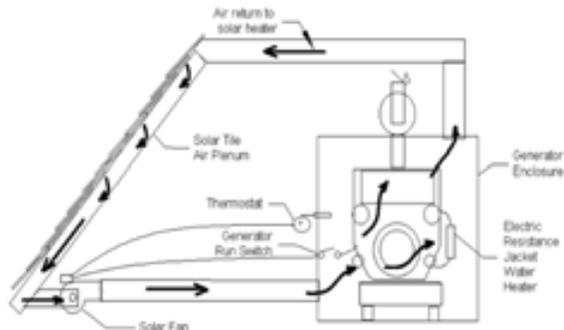
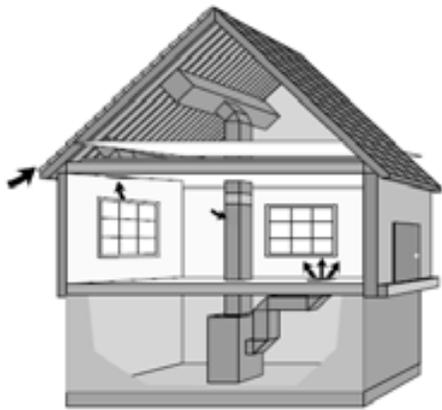
<sup>67</sup> ARCHIBALD, John. Solar thermal roofing for year round and seasonal heating at the pentagon. American Solar Roofing Co. [www.americansolar.com](http://www.americansolar.com)



Detalle constructivo:



Esquema de funcionamiento:



Corte transversal de la zona superior del inmueble, que incluye la unidad manejadora de aire con termostato

Imágenes:



Teja translúcida aplicada a un edificio del Pentágono, USA

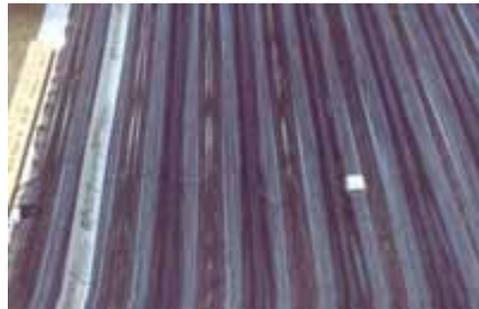


Lámina de teja corrugada de polímero translúcido

## 5.9. OM SOLAR

Nombre de la tecnología:	OM SOLAR SYSTEM <sup>68</sup>		
País de origen:	Japón	Empresa:	OM Enviromental Planning Inc
Inventor:	Williams, O.M.	Año invención:	1981
Inst. que avala:	PLEA	Recup. Inversión:	
Tipo de colector:	Dispositivo	Acumulador:	Tanque de agua
Costo en dólares:		Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Habitacional, comercial, institucional.	Tipo de SCSA:	Por techo
Área de aplicación:	Por techo	Temp. suministro:	50-70°C
Peso:	Variable	Flujo de aire:	
Dimensiones:	Variable		
Materiales	Paneles con vidrio templado y metal		

Este sistema crea un pasaje de aire estrecho entre la superficie del techo y el acabado exterior de la cubierta del techo de lámina metálica, a modo de colector sin vidrio y que pertenece al sistema OM Solar. Cuando el aire se hace pasar por ese pasaje se precalentándolo, acumulándolo y conduciéndolo hasta un colector acristalado (colocado en techo) que eleva su temperatura como última fase de la unida colectora. A partir de este punto, el aire se pasa a través de una unidad de control. La temperatura del aire obtenida depende por supuesto de las condiciones climáticas particulares, cuyos valores alcanzan entre 50 y 70 °C.

El aire caliente colectado bajo los pasos bajo el techo hacia la unidad controladora de aire, se envía directamente al interior de la vivienda mediante ductos verticales, y ya sea que se suministre directamente al recinto o se envíe a la capa inferior del piso para ser acumulado; en ambos casos, el aire caliente incrementa la temperatura interna. En concreto o elementos de mampostería, cuyas propiedades son de alta inercia térmica, se almacena la energía térmica; desprendiendo calor al interior cuando las temperaturas exteriores decaen manteniendo el confort térmico al interior.

Aunque el sistema OM Solar es más seguro que un sistema de calefacción solar de agua o uno convencional, el sistema aún contiene algunos elementos para asegurar el confort térmico en casos de disminución de radiación solar. Tal es el caso del tanque de agua a modo de acumulador térmico, por donde se hace pasar un serpentín que conduce el aire proveniente del techo.

Este método involucra la superposición de un equipo en el techo, y aunque las ventajas económicas en términos de instalación, mantenimiento y amortización son altas, el éxito está dado por las condiciones estructurales del inmueble y por la tipología y cultura arquitectónica.

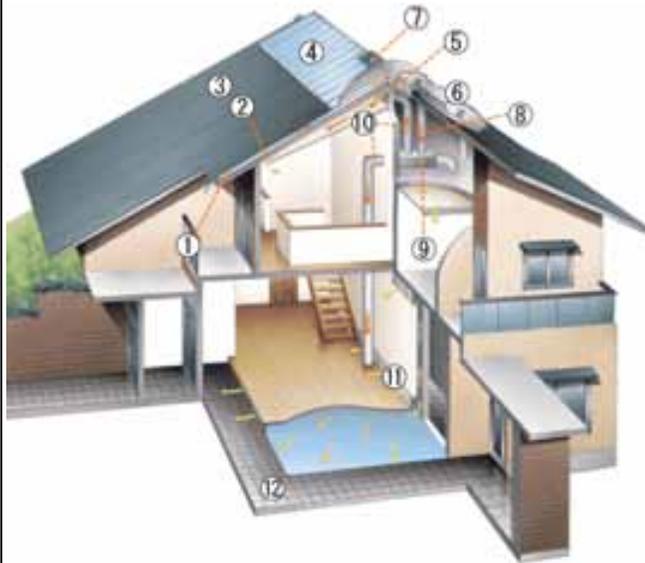
<sup>68</sup> [www.omsolar.com](http://www.omsolar.com)



Localización en edificio:

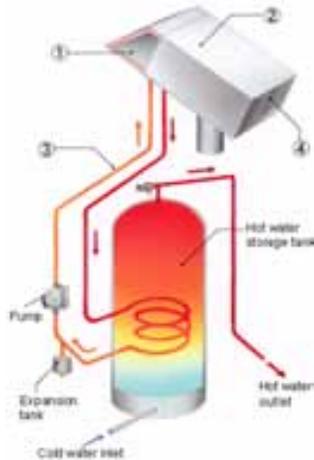


Detalle constructivo:



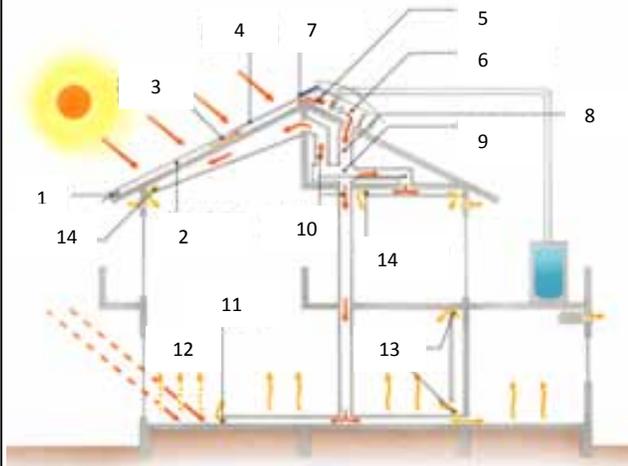
- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ingreso de aire exterior     | 8. Ducto interior             |
| 2. Capa colectora de calor      | 9. Unidad de distribución     |
| 3. Superficie absorbadora       | 10. Ductos verticales         |
| 4. Cubierta de cristal          | 11. Registros de piso         |
| 5. Ducto externo                | 12. Ganancia directa de calor |
| 6. Unidad controladora de aire. | 13. Salidas de aire en muro   |
| 7. Paneles fotovoltaicos        | 14. Salidas de aire en techo  |

Almacenamiento:



1. El aire calentado por acción solar pasa por la unidad manejadora.
2. El calor se transfiere mediante un intercambiador.
3. El fluido circula mediante de un serpentín a través del tanque de agua.
4. El aire regresa a la unidad manejadora y es expulsado hacia el inmueble.

Operación de sistema en periodos de frío:



Almacenamiento de energía térmica en muros, y suministro de calor mediante transferencia radiante.

## 5.10. WATERGY

Nombre de la tecnología:	SISTEMA WATERGY <sup>69</sup>		
País de origen:	Alemania	Empresa:	Alternative Fuels & Energy Pty Ltd (AFE)
Inventor:	NNE5-2001-683	Año invención:	2003
Inst. que avala:	European Community's Framework	Recup. Inversión:	4 años
Tipo de colector:	Por envolvente	Acumulador:	Tanque de agua
Costo en dólares:	en fase de prototipo	Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Residencial, comercial, institucional	Tipo de SCSA:	Por invernadero
Área de aplicación:	Fachada-techo	Temp. suministro:	+40°C
Peso:	Variable	Flujo de aire:	160 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Dimensiones:	Variable		
Materiales:	Planchas alveolares plexiglas		

Para la generación de energía solar térmica, es la primera vez que se investigará un colector solar de aire húmedo. Un invernadero colocado frente a una pared transparente en la cara sur del edificio actúa como una fachada doble modificada de cámara de aire de gran volumen. El aire del invernadero se calienta y es humedecido por las plantas que se colocan para ese fin. La convección natural hace que el aire ascienda al nivel del tejado. Allí, el aire se calienta y humedece adicionalmente en un colector secundario. La parte superior del colector está conectada a un conducto de enfriamiento integrado en el edificio, dentro del cual un intercambiador transfiere el calor al agua del tanque de almacenamiento, reduciendo la temperatura del aire que por ahí se hace pasar, por lo que ese aire, ahora frío, cae a través del conducto y vuelve al invernadero donde fue calentado, reiniciándose el ciclo.

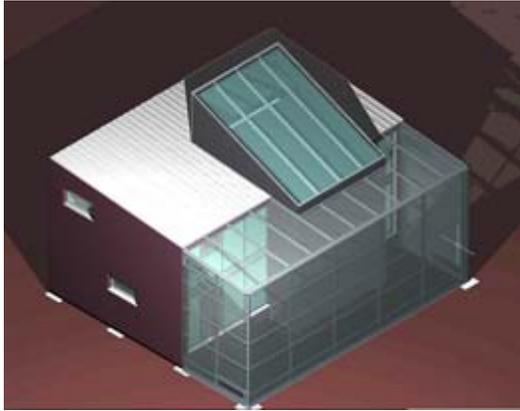
Comparado con los sistemas colectores que usan sólo aire seco, la transferencia de calor del colector al aire y del aire al intercambiador de calor se hace más eficaz gracias a los procesos de evaporación y condensación. Esto permite el uso de materiales más baratos y superficies de intercambio más pequeñas. La mayor densidad energética del aire húmedo (calor latente y sensible) permite transportar la misma cantidad de energía en un volumen de aire más pequeño. Adicionalmente, el flujo del aire puede ser establecido por convección natural. El invernadero es parte de la superficie colectora y ofrece ventajas adicionales como un espacio habitable de anexo o la producción integrada de alimentos. En el invernadero, las aguas grises del edificio pueden utilizarse para el riego. Mediante la evapotranspiración del cultivo y la posterior condensación de la humedad del aire, el agua es depurada y puede reutilizarse en el edificio. Este proceso de destilación proporciona agua de mayor calidad que los tratamientos biológicos convencionales. Junto con la recogida del agua de lluvia, se establece una base para la autarquía<sup>70</sup> del suministro de agua y tratamiento de agua residual.

<sup>69</sup> WATERGY. [www.watergy.info/neu/es/es\\_Anwendungen\\_Gebaedo.shtml](http://www.watergy.info/neu/es/es_Anwendungen_Gebaedo.shtml).

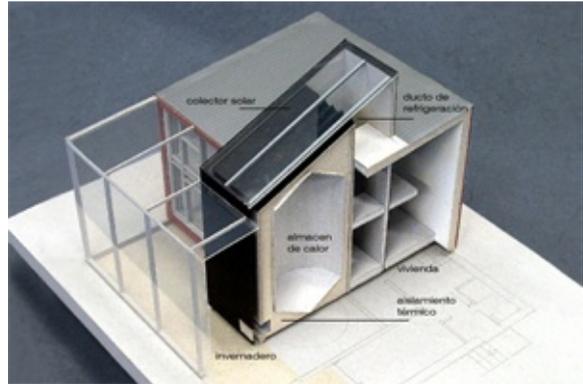
<sup>70</sup> Concepto con el que se conocen formas de organización que parten del principio de autosuficiencia económica y política. Se entiende como un sinónimo de economía cerrada.



Localización en edificio:



Detalle constructivo:



Esquema de funcionamiento:

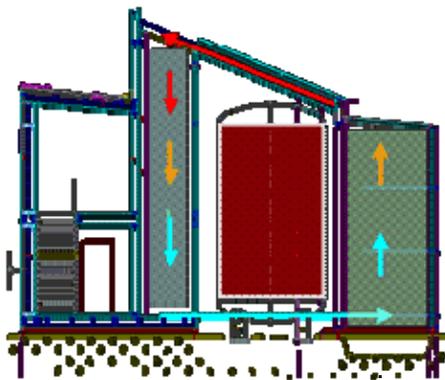


Vista general exterior durante la noche

Imágenes:



Vista general exterior durante el día



Esquema de funcionamiento en corte transversal



Vista desde el interior

## 5.11. TIM

Nombre de la tecnología:	AISLANTE TRANSPARENTE TIM <sup>71</sup>		
País de origen:	Alemania	Empresa:	OKALUX Kapillarglass <sup>72</sup>
Inventor:	Schmidt, christoph. Inst. Glaswerke arnold gmbh & co. Kg	Año invención:	1999
Inst. que avala:	Centre Énergétique et Procédés del'Ecole des Mines de Paris	Recup. Inversión:	
Tipo de colector:	Por fachada, techo	Acumulador:	Muro trombe
Costo en dólares:	\$67/ m <sup>2</sup> estructura simple y \$281/m <sup>2</sup> con estructura vidriada	Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Variable	Tipo de SCSA:	Envolvente
Área de aplicación:	Por fachada	Temp. suministro:	
Peso:	Variable	Flujo de aire:	
Dimensiones:	50 a 100 mm de espesor, en láminas de 1.40 x 1.0 mts		
Materiales:	Kapipane Aislante transparente TIM y muro trombe.		

La radiación solar, directa y difusa, penetra por el TIM, llegando en gran cantidad a la superficie de absorción del muro, donde se transforma en calor. La buena aislación térmica del muro, gracias al TIM, impide que el calor se pierda al exterior por convección. De forma similar al muro Trombe, se requiere un muro con alta inercia térmica, cuya superficie exterior sirva como absorbedor. Debido a que el muro tiene una conductividad mucho mayor que el TIM, se produce un flujo de calor al recinto, siendo entregado a este último con un desfase de tiempo que depende del espesor del muro y de sus propiedades físicas. De esta manera, se transforma el muro en un sistema de calefacción de bajas temperaturas, que permite inclusive reducir la temperatura de confort del mismo recinto por la sensación térmica que produce la radiación de calor de los muros.

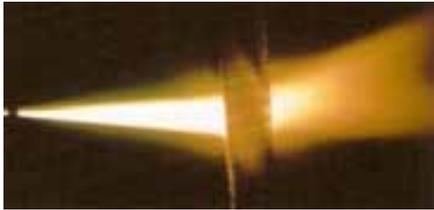
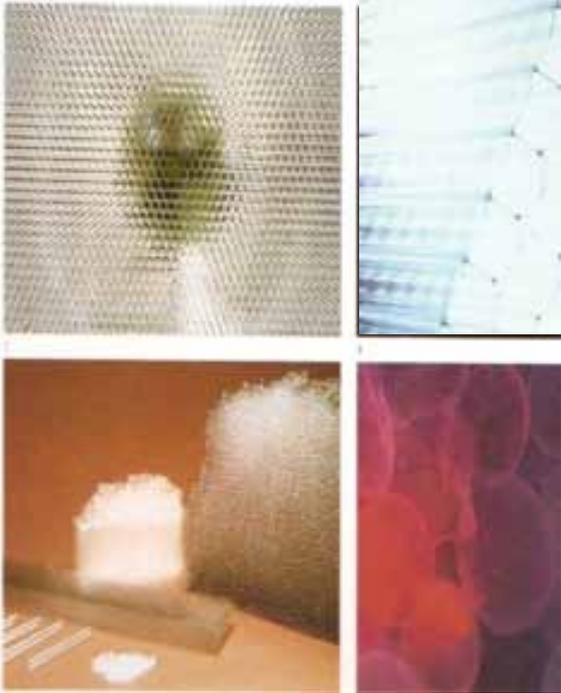
- De plástico: Los materiales plásticos más usados son el policarbonato y el acrílico, los cuales forman cámaras de aire mediante estructuras de celdas tipo panal de abejas, perpendiculares al muro, que actúa como superficie de absorción.
- De vidrio: El vidrio se emplea en forma de tubitos de vidrio con un diámetro exterior de 7 a 10 mm. Una placa formada por dos hojas de vidrio con tubitos de vidrio al interior de 7 mm de diámetro y 80 mm de largo, posee un valor "U" de 1,1 W/m<sup>2</sup>K y un valor "g" de 0,82. La temperatura de trabajo máxima admisible de los tubitos de vidrio puede alcanzar sin problemas los 265 °C, razón por la cual este tipo se ha empleado en la cubierta de colectores solares.
- De aerogel: Aunque este material también está hecho de vidrio, se ha clasificado aparte por tratarse de pequeñas burbujas de vidrio en base a estructuras microporosas con un 10% de material y 90% de aire. Debido a que el movimiento de las moléculas de aire es casi nulo, este material presenta un valor "U" muy reducido; una capa de aerogel de 20 mm de espesor, posee un valor "U" de 0,9 W/m<sup>2</sup>K y un valor "g" de 0,5. A diferencia de los otros materiales de TIM, donde la visibilidad a través de ellos es casi nula o muy difusa, el aerogel posee un alto grado de transparencia. La desventaja es que al entrar en contacto con el

<sup>71</sup> Transparent Insulation Material. Material aislante transparente

<sup>72</sup> www.okalux.de



agua, se torna de color blanco y se destruye por capilaridad la estructura autoportante del material.

Localización en edificio:	Detalle constructivo:
<p>Alberge Juvenil.Windberf Alemania. Thomas Herzog.</p>  <p>Tienda deportiva OKAY,</p> 	 <p>Sistema de muro con aislante térmico transparente.</p>
Conducción de luz :	Imágenes:
  <p>Difusión de la luz por medio del sistema TIM</p>	 <p>Estructura capilar y perlas de aerogel</p>

## 5.12. MURO TROMBE-MITCHELL

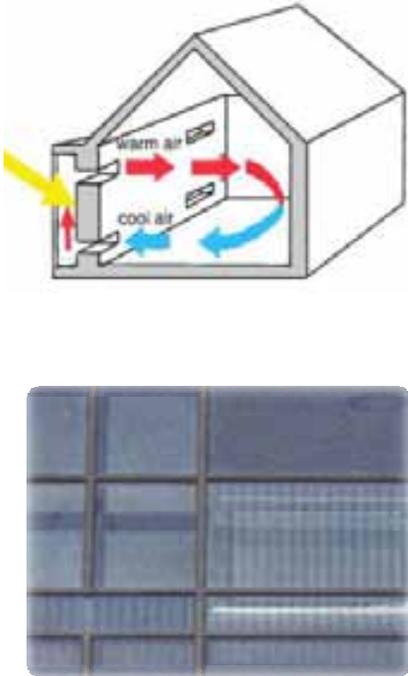
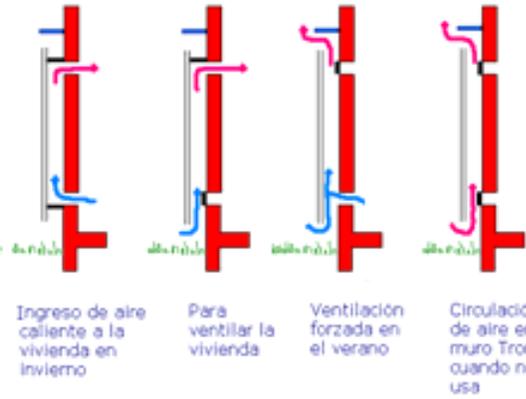
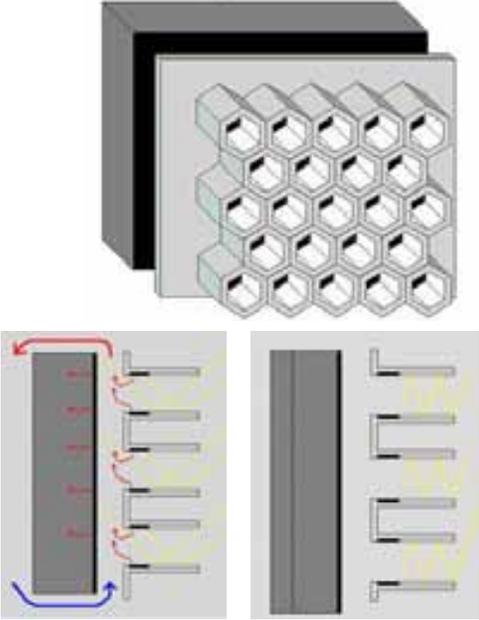
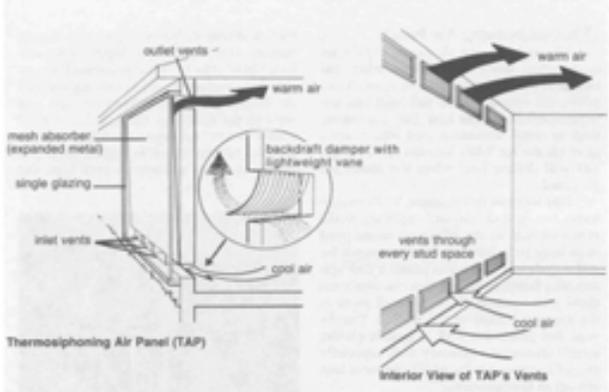
Nombre de la tecnología:	MURO TROMBE-MITCHELL <sup>73</sup>		
País de origen:	USA	Empresa:	-----
Inventor:	Trombe-Mitchell	Año invención:	1964
Inst. que avala:		Recup. Inversión:	2-5 años
Tipo de colector:	Por envolvente	Acumulador:	Muro
Costo en dólares:	Variable	Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Habitacional	Tipo de SCSA:	Por fachada
Área de aplicación:	Muro	Temp. suministro:	22°C
Peso:	Variable	Flujo de aire:	70m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Dimensiones:	6 a 18" de espesor		
Materiales:	Concreto, ladrillo, rocas, adobe		

Es un muro o pared orientada al ecuador, construida con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica. Un muro de este tipo esta compuesto por 4 elementos básicos: acristalado, espacio de aire entre acristalado y muro, muro de alta capacidad térmica y difusores dependiendo del tipo de muro. Durante el día, cuando los rayos del sol atraviesan el acristalado calientan la superficie oscura del muro que almacena el calor en la masa térmica. En la noche, el calor se escapa del muro tendiendo a enfriarse principalmente hacia el exterior, pero la lámina de vidrio (semiopaca a la radiación infrarroja) conserva el calor. Si la superficie vidriada es mejorada en su aislamiento térmico (mediante doble o triple vidrio) la pérdida de calor al exterior se reduce elevando la temperatura del local. Existen dos tipos básicos de muro trombe, el ventilado y el no ventilado. El primero se distingue por su mayor eficiencia y de proveer una rápida transmisión de calor en cuanto los primeros rayos solares matutinos aparecen, pero requiere de ser cerrar por las noches los difusores para evitar pérdidas de calor. La diferencia entre ambos, es que un muro no ventilado emite calor por medio de radiación; mientras que un muro ventilado lo hace por radiación y convección, cuando se crea una corriente convectiva de intercambio entre el aire que es calentado entre el cristal y el muro, y el aire del recinto, produciendo una temperatura homogénea en el local.

Muro tipo panel: Mediante unos bloques hexagonales de concreto se construye un sistema de calefacción que permite una discriminatoria captación de la energía solar, favoreciéndola en invierno y dificultándola en verano. Los bloques se disponen como lo hacen los panales de abejas y están pintados en su interior de pintura blanca reflectante excepto la parte mas próxima al recinto que se pinta de negro, tras del cual se dispone otro grueso muro pintado totalmente de negro. Durante los meses de invierno la radiación llega al interior de los bloques pintados de blanco y reflejan parte en la zona pintada de negro del propio bloque y parte en el muro negro posterior, radiación que al topar con las zonas pintadas de negro se transforma en calor que a través del aire sube por convección y se dirige al interior de la casa, y el calor que se ha acumulando en el muro es liberado en la noche cuando ya no hay radiación solar. En verano, cuando las temperaturas son altas y no interesa captar la energía solar, la radiación al caer más perpendicularmente sufre un mayor número de reflexiones en la parte del bloque pintado de blanco difuminándose y dispersándose llegando muy difícilmente a las superficies negras.

<sup>73</sup> [www.cleardomesolar.com](http://www.cleardomesolar.com)



Localización en el edificio:	Funcionamiento:
	 <p>Ingreso de aire caliente a la vivienda en invierno</p> <p>Para ventilar la vivienda</p> <p>Ventilación forzada en el verano</p> <p>Circulación de aire en el muro Trombe cuando no se usa</p>
Muro trombe y sistema panel:	Muro trombe y sistema panel:
 <p>Corte esquemático transversal, del funcionamiento en época de invierno (izq.) y época de verano (der.)</p>	 <p>Thermosiphoning Air Panel (TAP)</p> <p>Interior View of TAP's Vents</p>

## 5.13. SUNMATE SOLAR

Nombre de la tecnología:	SUNMATE HOT AIR SOLAR PANEL <sup>74</sup>		
País de origen:	USA	Empresa:	Environmental solar systems
Inventor:	Environmental solar systems	Año invención:	
Inst. que avala:	(SCRSS) Solar Rating and Certification Corporation	Recup. Inversión:	2-5 años
Tipo de colector:	Por dispositivo	Acumulador:	-----
Costo en dólares:	\$1672.00	Eficiencia:	
Edificio de aplicación:	Habitacional	Tipo de SCSA:	Por fachada
Área de aplicación:	Muro y techo	Temp. suministro:	+ 9°C
Peso:	39 kgs	Flujo de aire:	150 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Dimensiones:	2.0 x 1.0 x 0.10 mts		
Materiales:	Vidrio templado, aluminio corrugado.		

Un solo panel puede calentar alrededor de 70 m<sup>2</sup>, y opcionalmente puede funcionar con un módulo fotovoltaico para generar energía eléctrica que se suministra al aerogenerador integrado. El sistema es completamente automático, y contiene un aerogenerador de corriente directa para ayudar a circular el aire caliente al interior del inmueble. Se instala en aproximadamente 2 horas, y está diseñado de forma tal que los paneles pueden colocarse de forma seriada para completar la demanda energética requerida.

La particularidad del sistema Sunmate, es que a pesar de manejarse como un dispositivo sobrepuesto, considera la colocación de dos unidades colectores (una sobre techo y otra sobre el muro con orientación al ecuador); obteniendo de esta forma un ambiente más homogéneo, térmicamente hablando. Bajo este principio, el colector instalado en techo provoca un efecto de corriente convectiva interior moviendo el aire inferior hacia la zona superior a modo de chimenea solar; de forma paralela, un colector situado en muro provee de aire caliente en la zona inferior atendiendo las demandas de inconfort térmico local de los usuarios.

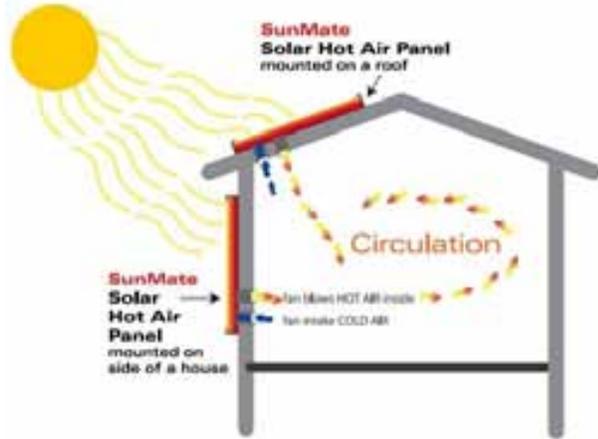
<sup>74</sup> [www.environmentalsolarsystems.com](http://www.environmentalsolarsystems.com)



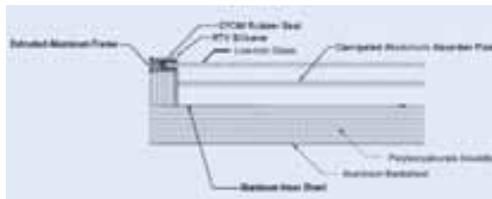
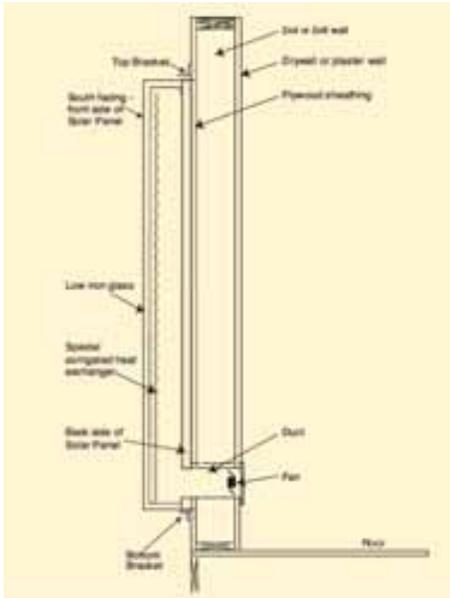
Localización en el edificio:



Funcionamiento:



Muro trombe y sistema panel:



Muro trombe y sistema panel:



## 6. GUÍA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

### 6.1. CRITERIOS BÁSICOS DE SELECCIÓN

El primer criterio para la elección de un sistema de calefacción es darle prioridad a todas aquellas técnicas que implican hacer el edificio pasivo. El primer paso es utilizar las características térmicas de los elementos constructivos de la arquitectura del inmueble, a partir de ello se incluyen componentes de colección solar pasiva, la forma de almacenaje de la energía térmica captada, el método de distribución y cierto tipo de controles, primero manuales y luego automáticos.

El segundo criterio tiene su origen en las características del usuario, por ejemplo sus hábitos y tradiciones para el uso de una vivienda, y por su puesto el tipo de actividades que al interior del inmueble se realicen y las condiciones de confort térmico particulares de esa región.



Fig. 67. Diversidad de usuarios

El tercer criterio son los requerimientos y disponibilidades técnicas, tanto la disponibilidad de recurso energético de diversas fuentes, como las instalaciones preexistentes y la factibilidad económica.



Fig. 68. Instalación de tuberías de cobres en desuso, que pueden ser reutilizados como ductos de suministro de aire caliente

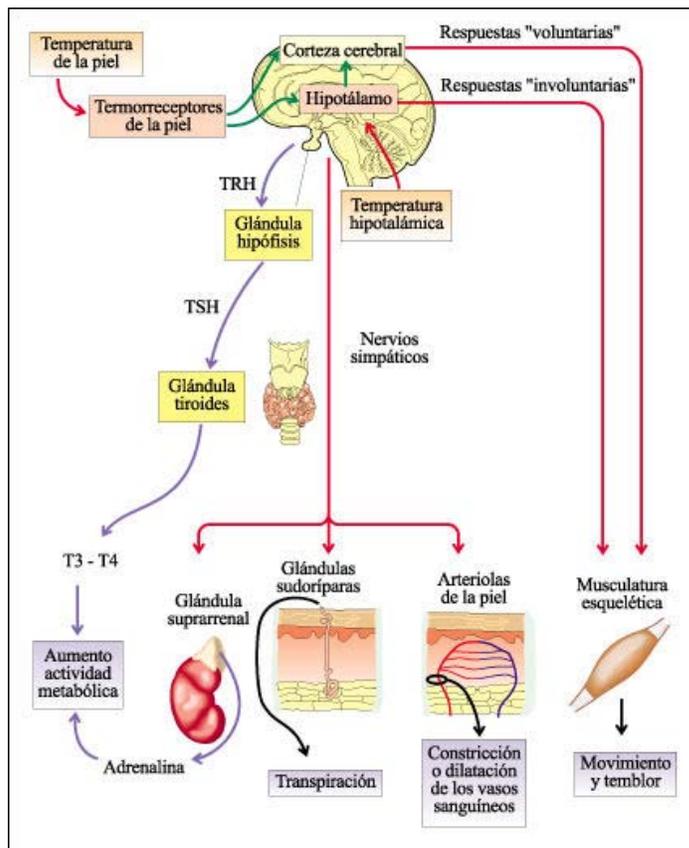
El cuarto criterio, se refiere a la integración arquitectónica del SCSA, ya sea como envolvente del inmueble o como dispositivo. Se selecciona en base a la estética de los elementos que se incluyen y la forma en que se deseen instalar los elementos (ocultos o a la vista), así como su relación con el contexto.

El último y quinto criterio es la selección de un sistema auxiliar en caso de requerirlo, y se basa principalmente en los costos de instalación, operación y mantenimiento, sin olvidar el consumo energético del sistema convencional al que se haya recurrido, teniendo prioridad de selección aquellos equipos clasificados como de bajo consumo energético.



## 6.2.CONFORT TÉRMICO

El ser humano es un animal homeotermo que en condiciones fisiológicas normales mantiene una temperatura corporal constante y dentro de unos límites muy estrechos, entre  $36,6 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ , a pesar de las amplias oscilaciones de la temperatura ambiental. Esta constante biológica se mantiene gracias a un equilibrio existente entre la producción de calor y las pérdidas del mismo y no tiene una cifra exacta. Existen variaciones individuales y puede experimentar cambios en relación al ejercicio, al ciclo menstrual, a los patrones de sueño y a la temperatura del medio ambiente.



Cuando la temperatura del cuerpo del humano experimenta un descenso, gracias al centro termorregulador, entran en funcionamiento los mecanismos que minimizan las pérdidas de calor corporal, para devolver la temperatura corporal a los valores anteriores. Con los mecanismos de conservación del calor interno del cuerpo conseguirá el individuo mantener constante su temperatura. La temperatura corporal desciende como consecuencia de una baja de la temperatura del medio ambiente. Para evitar perder calor en lo posible, el cuerpo humano minimiza los fenómenos de transporte de calor (convección y conducción), los vasos pequeños de las extremidades. Si la temperatura de su cuerpo se sitúa a valores más

bajos el animal empieza a tiritar.

Fig. 69. Regulación de la temperatura corporal. Cap. 44: Homeostasis. <http://iescarin.educa.aragon.es/depart/biogeno/varios/BiologiaCurtis/Seccion%207/7%20-%20Capitulo%2044.htm> (ref. nov.17, 2008)

El mantenimiento de la temperatura corporal depende del calor producido por la actividad metabólica y el perdido por los mecanismos corporales, así como de las condiciones ambientales. El cuerpo humano tiene una temperatura interna de  $37^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura cutánea es de  $33,5^{\circ}\text{C}$ . El calor ganado y perdido por el cuerpo depende de múltiples factores. La termogénesis, o generación de la temperatura se realiza por dos vías: (1) **Rápida**: termogénesis física, producida en gran parte por el temblor y el descenso del flujo sanguíneo periférico y **lenta**: termogénesis química, de origen hormonal y movilización de sustratos procedentes del metabolismo celular.

En un cuerpo en reposo con intercambio de calor cero, el calor metabólico podría aumentar la temperatura corporal unos 2º/h y si el sujeto estuviera andando sería dos o tres veces más rápido. Cuando se produce un cambio de calor a frío ambiental, los mecanismos de conservación del calor se invierten y reordenan; el descenso del volumen plasmático protege al cuerpo de la pérdida de calor, ofreciendo menos calor a las regiones superficiales. Cuando, a pesar de estas restricciones la temperatura corporal tiende a disminuir, se activan otros mecanismos de mantenimiento de la temperatura, tales como la tensión muscular y el temblor o el tiritar.

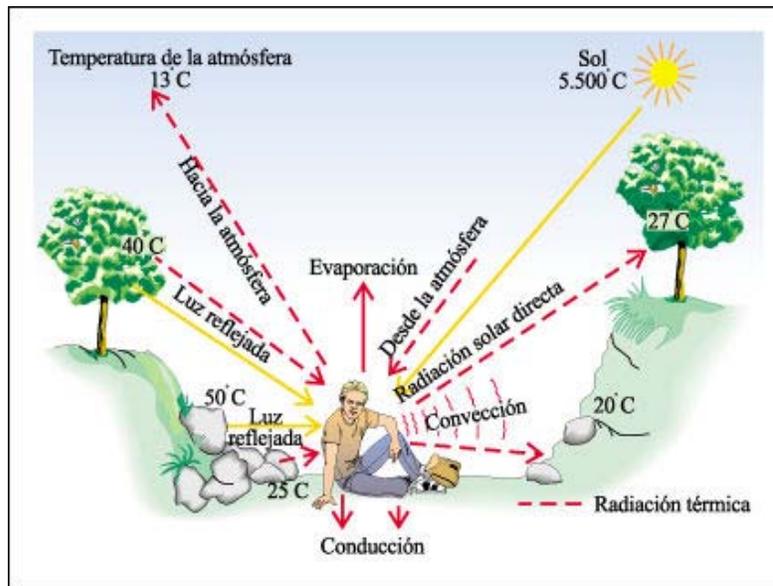


Fig. 70. Intercambio de calor entre cuerpo humano y ambiente. Cap. 44: Homeostasis. <http://iescarin.educa.aragon.es/depart/biogeno/variados/BiologiaCurtis/Seccion%207%20-%20Capitulo%2044.htm> (ref. nov.17, 2008)

El hombre considera cómodo el ambiente si no existe ningún tipo de incomodidad térmica. La primera condición de comodidad es la *neutralidad térmica*, que significa que una persona no siente ni demasiado calor ni demasiado frío. El cerebro interpreta las señales como una suma de impulsos positivos y negativos que se anulan entre sí. Si las señales de ambos signos son de la misma magnitud

se sentirá térmicamente neutro, si no, se sentirá demasiado caluroso o demasiado frío.

Dos condiciones deben ser cumplidas para mantener el confort térmico. La primera es que la combinación actual de temperatura de piel y temperaturas del núcleo del cuerpo proporcione una sensación térmica neutra. La segunda es el equilibrio del balance de energía del cuerpo: El calor producido por el metabolismo debería ser igual a la cantidad de calor disipada por el cuerpo. Las relaciones entre los parámetros: temperatura de la piel, temperatura del núcleo corporal y actividad, cuyo resultado es una sensación térmica neutra, esta basada en un gran número de experimentos. La norma ISO 7730 define al confort térmico (ver apéndice D) como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico". Esta definición puede satisfacer a la mayoría de la gente, pero también es una definición que no es fácil de convertir en parámetros físicos. La sensación de comodidad térmica del hombre está relacionada con el calor producido por su Metabolismo, ya que si existe un equilibrio entre el calor generado espontáneamente por una persona y el que disipada al entorno se producirá una sensación de bienestar, pero si la cantidad de calor disipado es excesiva la persona sentirá una sensación de frío, o una sensación de calor si el calor disipado es insuficiente.



### 6.3. EXIGENCIAS ADICIONALES DE CONFORT

**Temperatura de suministro:** Un problema esencial es saber para qué temperatura exterior debe alcanzarse el confort térmico y, por tanto, para qué temperatura interior debe calcularse la calefacción. Por razones lógicas se desprecian las temperaturas excepcionalmente bajas reportadas y se trabajan con las normales climatológicas. Los dos factores de ambiente esenciales son temperatura radiante y temperatura del aire. La exigencia principal consiste en fijar las combinaciones de los valores de estos dos valores, es decir, fijar un mínimo de temperatura ambiente ya que la temperatura radiante está siempre próxima a la del aire y se diferencia de ésta más que en dos grados.

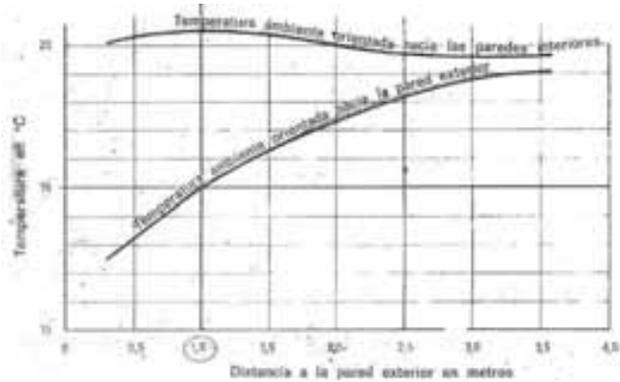


Fig. 71. Relación temperatura interior (°C) y distancia a la pared exterior (m). CROISSET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.

La temperatura ambiente media no es la misma en todos los puntos de un local; pero teniendo en cuenta una cierta tolerancia en la exigencia y en la medida en que las exigencias de confort localizado (paredes frías y suelo) son satisfechas, podemos solo fijar la temperatura de ambiente media en el centro del local (ver figura 71). Parece razonable fijar en 20° el mínimo de temperatura ambiente medio en el centro de la habitación a 1.25 mts de altura<sup>75</sup>. Sin embargo, deberá obtenerse el rango de termopreferendum<sup>76</sup> que precisa la temperatura soportada por usuarios de un determinado lugar. Por otro lado, un suelo frío provoca que el aire de menor temperatura quede asentado en las proximidades al suelo originando un fuerte gradiente de temperatura en la habitación y una elevación en la molestia sentida en los pies. En definitiva es necesario que la temperatura del

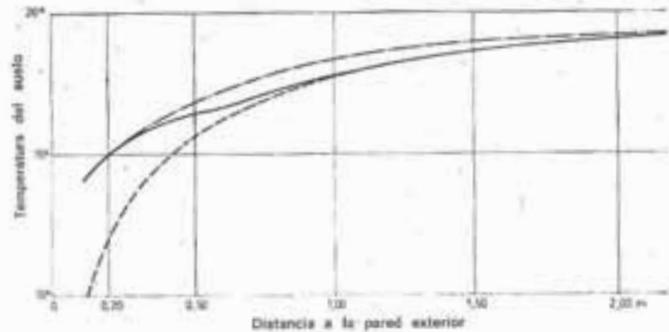


Fig. 72. Relación temperatura del suelo (°C) y distancia a la pared exterior (m). CROISSET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.

— Curvas de temperatura del suelo en los tres casos siguientes:  
 - - - - Aislamiento en toda la superficie del suelo.  
 - - - - sobre 0,50 m alrededor del edificio.  
 - - - - Sin aislamiento. Estas curvas corresponden a la zona A:  $t_e = -13^\circ$ , la temperatura interior  $t_i$  será igual a  $20^\circ$ .

<sup>75</sup> CROISSET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios*. Barcelona, 1976. P.p. 29-35

<sup>76</sup> Temperatura de confort ( $T_n$ ) que varía de lugar a lugar y de estación a estación. Para calcularlo se aplica la ecuación propuesta por Auliciems (1990), que determina el centro de la zona de confort para cada mes en función de la temperatura media ambiente ( $T_o$ ).  $T_n = 17.6 + (0.31 * T_o)$

suelo no baje de 15 a 17 °C, y no exceda una diferencia de 5°C con respecto a la temperatura media ambiente<sup>77</sup>.

Nombre	OM Solar	Watergy	Twin solar	Muro Trombe	Cansolair	Matrixair	Solarwall
Temperatura de suministro	50 -70 °C	± 40 °C	± 27.5 °C	± 22 °C	± 17 °C	± 16.5 °C	± 16 °C

Tabla 12. Comparativa de temperatura de suministro

Mediante la tabla anterior, puede conocerse cuáles son los equipos tecnológicos que mayor temperatura al aire pueden suministrar una vez que se haya hecho la conversión fototérmica. Según datos de los fabricantes se puede llegar hasta 30°C, sin embargo, hay que considerar que no pueden tomarse estos datos como dato fiable; ya que depende de las condiciones climáticas y de tiempo del sitio y día, así como de la efectividad de la instalación. Sin embargo, esta tabla comparativa permite tener en cuenta que *si se requieren alcanzar niveles adecuados de temperatura de confort con poca superficie, se deberá de recurrir a dispositivos y no a la envolvente*; pues existe una diferencia de 2:1 de los sistemas matrixair y solarwall frente a los colectores tipo dispositivo sunlizard y twin solar en cuanto a la temperatura de suministro. Por otro lado, *los únicos sistemas que permiten alcanzar temperaturas elevadas, son aquellos que su sistema de almacenaje es con agua cuyo caso son los sistemas OM Solar y Watergy*.

Corrientes de aire: En invierno, es decir durante el periodo del año en que la calefacción es necesaria, lo usual es evitar el contacto con el aire exterior manteniendo las ventanas cerradas. Esto hace que el aire este en calma y no haya motivo para tener en cuenta el factor velocidad del aire, salvo localmente en las proximidades de las entradas de aire de ventilación (filete de aire). Para aquellos sistemas de circulación cerrada, donde el aire que se calienta no se toma del exterior sino que se re circula, no debe a pesar de esto, creerse que no existirá renovación de aire alguna, por lo que serán necesarios orificios de toma de aire nuevo y esto conllevará a filetes de aire.

Un filete de aire molesto, puede disminuirse con una pantalla que corte la vena de aire y la difunda, por ejemplo, conservando un deflector dirigiendo el aire hacia arriba, con el fin de que la mezcla de aire tenga lugar en las cercanías del muro y que ningún aire frío penetre en la zona de ocupación. La disposición de orificios de ventilación en la parte alta facilita la resolución del problema. En el primer caso arriba mostrado (fig.73), el resultado es malo, en el segundo es casi satisfactorio, pero se alcanza el total de satisfacción cuando el techo es caliente. Por lo anterior citado, *el sistema roofing tile, OM Solar y*

<sup>77</sup> Ibid.



Calefacción solar por aire

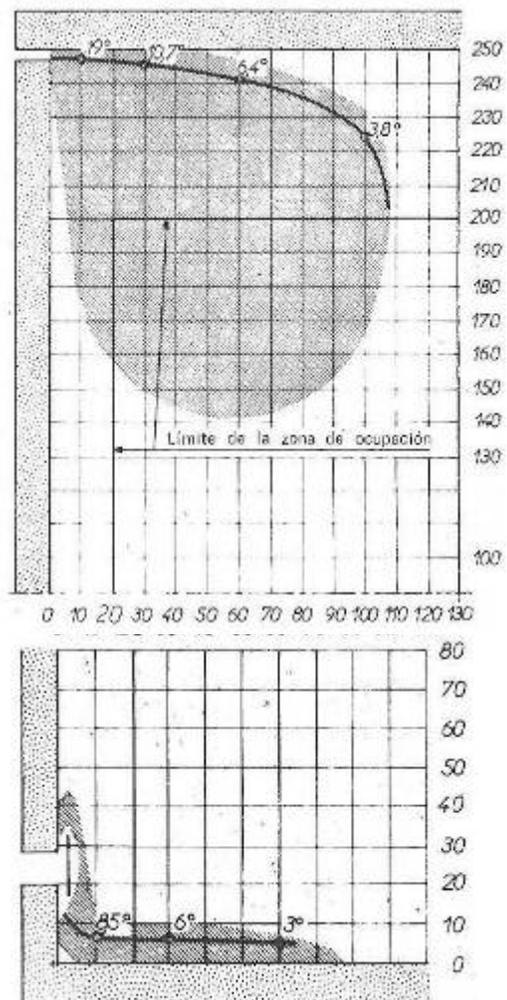


Fig. 73. Localización de filete de aire en zona superior (izq.) y en zona inferior (der.). CROISET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.

*Watergy cumplen satisfactoriamente con ventilación adecuada evitando filetes de aire molestos, ya que el principal elemento a calentar es la cubierta superior o techo*

**Humedad:** Si el diseñador se esmera por encontrar una solución natural de sistema de calefacción, como la calefacción solar, contribuye a crear un ambiente interior favorable para el usuario, ya que el aire que proviene de sistemas artificiales normalmente carece de la humedad necesaria para proporcionar adecuado confort higrotérmico. La calefacción natural solar, reducirá el porcentaje de humedad relativa, pero habrá que tener en cuenta que una humedad relativa por debajo del 25% no es aconsejable ya que provoca irritación en las vías respiratorias, por lo que deberá corroborarse la situación de humedad del local una vez que el sistema esté en funcionamiento.

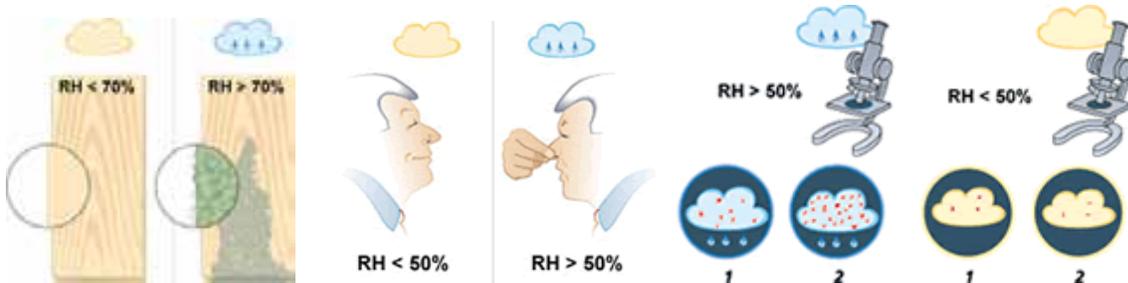


Fig. 75. Efectos de la humedad, de izquierda a derecha: moho, mal olor y bacterias

Para obtener un dato simplificado y orientado exclusivamente al efecto por humedad, se deberá recurrir al ábaco 1, donde las rectas de igual temperatura efectiva son tanto más inclinadas, a medida que la temperatura es más elevada, lo que significa que la influencia de la humedad del aire crece con la temperatura. Para este caso, se incluye un ejemplo que arroja la misma temperatura efectiva, cuando la temperatura de bulbo seco es de 25°C y se presenta 85% de humedad relativa, y cuando (segundo caso) la temperatura es de 31°C y la humedad relativa de 20% (ver figura 76).

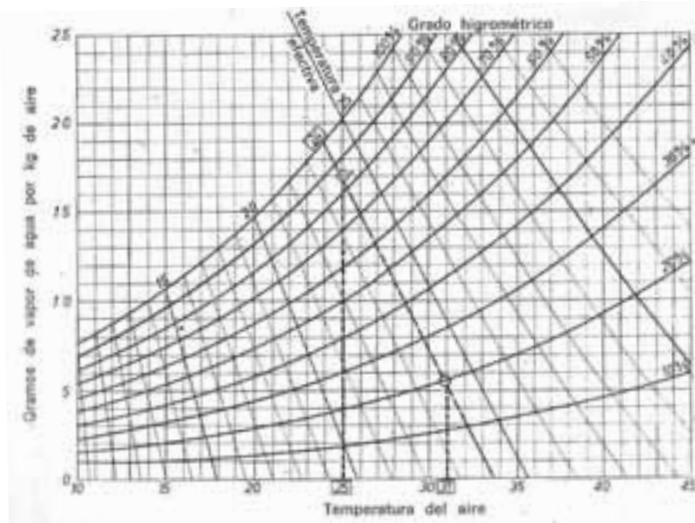


Fig. 76. *Abaco 1*. CROISSET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.

A pesar de ello, muchos climas donde el frío intenso se presenta en invierno pero con lluvias intensas en verano, al inicio (sobretudo) y término de la estación invernal, se ve caracterizada por un alto porcentaje de humedad registrándose hasta más del 90% en las horas con ausencia de radiación solar. Es por eso que *el sistema Watergy, no es adecuado como área habitable en climas con altos índices de humedad*, que se basa en un invernadero que calienta el aire y que es humedecido por plantas, pues es difícil de controlar las diminutas partículas de agua que se filtran junto con el aire, aún cuando este invernadero se tratara tan solo como un gran colector adosado al inmueble. Bajo estudios minuciosos de la humedad en el sitio, con el hecho de suprimir la vegetación y sus efectos de evotranspiración, este sistema puede contribuir como un deshumidificador de la vivienda

siempre y cuando las condiciones bioclimáticas del sitio lo permitan, aunque resulta una apuesta muy riesgosa por los efectos a la salud posibles.

Por otro lado, la humedad deberá estar controlada en el grado de su contenido de agua respecto a la temperatura, ya que el fenómeno de la condensación puede presentarse. La condensación es el proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida y es el proceso inverso a la ebullición; y depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura. Es un proceso regido con los factores en competición de energía y entropía. Mientras que el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético, el estado gas es el más entrópico; motivo por el cual *el sistema Watergy permite transportar mayor cantidad de energía térmica en un menor volumen de aire* respecto al resto de los sistemas que solo utilizan aire con bajos niveles de humedad. Pero esto tiene dos consecuencias inmediatas:

1. La condensación se produce al bajar la temperatura (por ejemplo, con el rocío en la madrugada).
2. La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía. Produciendo una sensación de temperatura mayor en un ambiente muy cálido y muy húmedo.

Teóricamente, la condensación se produce cuando el aire cargado de humedad del interior de una edificación alcanza el punto de rocío. El ábaco 2, permite anticipar los riesgos por condensación respecto a la temperatura. Se presenta un ejemplo cuando la temperatura es  $-4^{\circ}\text{C}$  con 85% de humedad relativa alcanzando su punto de rocío con dos grados menos, es decir, a  $-6^{\circ}\text{C}$ . Es importante mencionar, que aunque no se tendrán estas temperaturas al interior del inmueble, la diferencia de temperatura en ambas caras del cristal si llegará a generar una condensación del vapor de agua del interior de la cámara de aire, produciéndose una zona de "panel frío" que además de provocar inconfort térmico zonal, representa una fuga de calor importante ya que el vidrio por sí solo es mal aislante y el agua es un excelente conductor. Para estos efectos, debe considerarse el uso de ventanas dobles con cámara de aire hermética, lo que evita el fenómeno de la condensación; y que son parte de la propuesta final de aislamiento térmico.

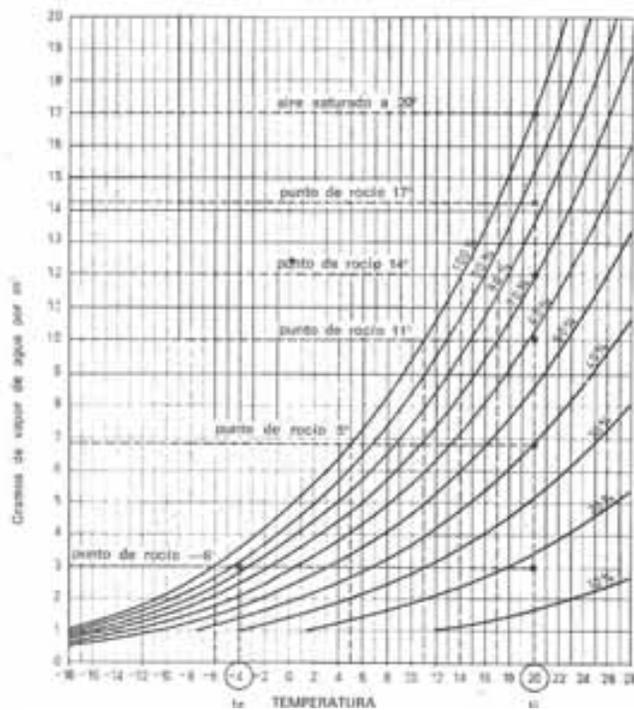


Fig. 77. Abaco 2. CROISSET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España.



Fig. 78. Ventana con vidrio doble y cámara de aire o mezcla de gases pesados. Arquitectónica en Aluminio y vidrio, S.A. de C.V. [www.aluminioyvidrio.com.mx](http://www.aluminioyvidrio.com.mx)



Renovación de aire: El aire exterior que corre a través de un edificio, es importante por 2 razones; la dilución con el aire exterior es un medio primario para regular los contaminantes del aire interior y; para regular la temperatura de los espacios. Una habitación ocupada y sin ventilación produce una elevación en la temperatura y humedad, y un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), gas que resulta tanto de los procesos normales de oxidación celular como de las combustiones domesticas. Otros factores interviene también en el proceso, entre los que cabe destacar la concentración de olores, como los corporales. Por lo que una ausencia de ventilación produce rápidamente una desagradable sensación de opresión.

Para evitar los anteriores problemas de disconfort, se recurre a la renovación de aire que es la renovación efectiva del aire contaminado por combinación con aire limpio. La frecuencia de las renovaciones de aire, se define por el volumen (V) en un tiempo dado (en horas, H); y la tasa de renovación, define el número de veces que el volumen de aire del recinto circula a través de la instalación de tratamiento; valor que será tanto más elevado cuanto mayor sea la actividad contaminante o el nivel de exigencia del local. La gran variedad de construcciones y necesidades que pueden darse, reducen la posibilidad de dar normas fijas en lo que a ventilación se refiere, aunque existen una serie de indicaciones generales que fijan la pauta a seguir en la mayoría de los casos. Por ejemplo, las entradas de aire deben estar diametralmente opuestas a la situación de los extractores, de forma que todo el aire empleado pase a través de la zona contaminada<sup>78</sup>. Si se introduce un aire normal con 0.05% de CO<sub>2</sub>, se requeriría una tasa de ventilación de 30 m<sup>3</sup>/h por persona. Cifra que se suele emplear en textos de higiene. Para zonas urbanas con una concentración de 0.07% CO<sub>2</sub>, la tasa de ventilación requerida será de 50m<sup>3</sup>/h por persona. Sobre estas cifras se puede estimar el número de renovaciones completas que se requiere para un espacio dado. Pero el número de renovaciones horarias a utilizar dependerá de la ventilación con la que se dote al local, como mínimo se deberá emplear una renovación por hora, y en caso de que se cuente con ventilación, el valor vendrá condicionado por la superficie o el caudal de dicha ventilación. Debe de recordarse que para mantener las condiciones higiénicas, un mínimo de ventilación es siempre necesario.

Espacio	Renovaciones o cambios de Aire
Baños o Lavabos Residenciales.	6 a 14 x hr.
Cocinas Residenciales o de Oficinas.	5 a 20 x hr.
Habitaciones Residenciales.	1 a 2 x hr.
Pasillos.	2 a 3 x hr

Tabla 13. Renovaciones o cambios de aire por tipo de espacio dentro de una vivienda<sup>79</sup>

Ahora bien, para calcular la cantidad de calor que se eliminada, por efecto de la renovación de aire, se recurre a la siguiente ecuación:  $Q = \frac{q}{C_p P (T_i - T_e)}$

En donde:

Q =corriente de aire desalojado, m<sup>3</sup>/s

q =Calor desalojado, W

Cp= calor específico del aire a presión contante, 1,006J

P= Densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>

Ti-Te= diferencia de temperatura media interior y exterior, °C

<sup>78</sup> CASP, Ana. Diseño de Industrias Agroalimentarias. Mundi prensa.

<sup>79</sup> www.ventdepot.com Todo en Ventilación, S.A. de C.V.

## 6.4. ZONA DE SUMINISTRO

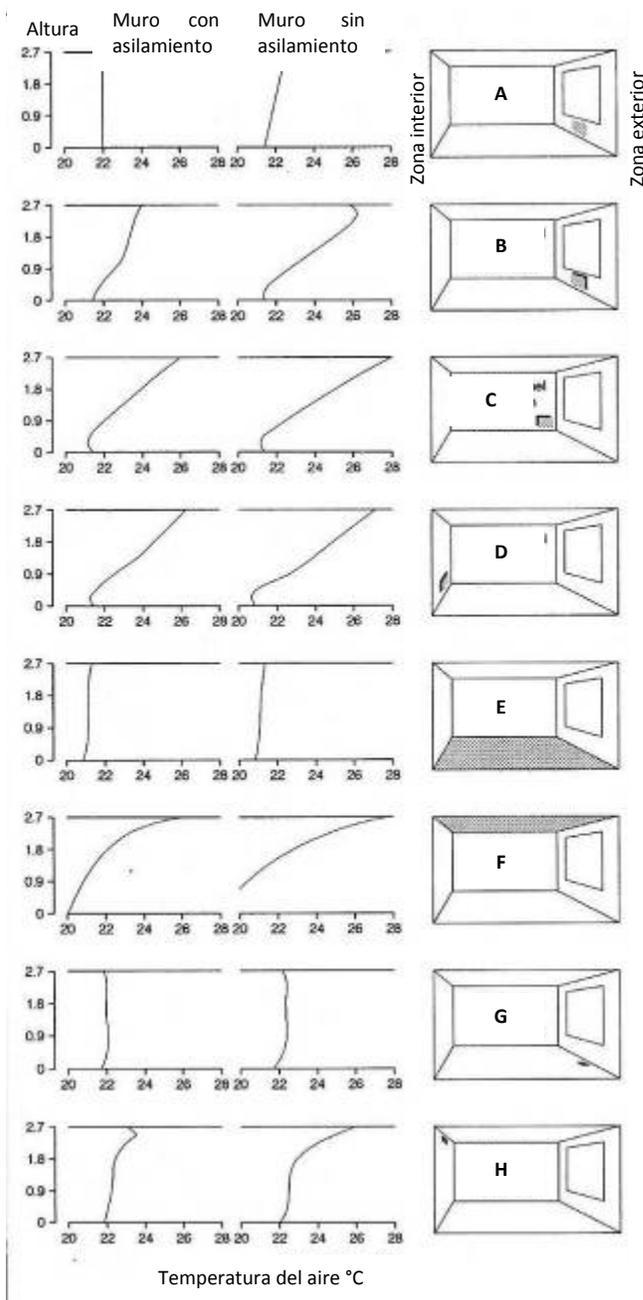


Fig. 79. Perfiles de temperatura vertical al centro de una habitación con diferentes sistemas de emisión de calor. LEWIS, Owen. *Energy in Architecture*. The European Passive Solar handbook. Chrysalis. 1992

asilados. Por otro lado deberá considerarse que no todas las estrategias o equipos tecnológicos pueden dotar al total de la vivienda de aire caliente, y que en cambio solo pueden atender una crujía como máximo, y son tan solo excepciones a la regla los sistemas OM Solar y Solar Roofing Tile; de utilizar otro tipo de sistema deberá recurrirse a aerocirculadores.

En un esquema general de una vivienda, al colocarse entradas de aire situadas en las habitaciones principales y salidas de aire en las habitaciones de servicio donde la polución es mayor, se produce cierta economía de calefacción con relación a la ventilación que se denomina por "habitación separada"<sup>80</sup>, que consiste en proveer una entrada y salida de aire en cada local. Serán orificios con deflectores situados encima de los difusores u orificios situados bajo un techo caliente.

Debe considerarse la localización de los puntos de suministro de aire caliente, ya que tiene una importante repercusión en el flujo de aire vertical no alcanzando en todas las posibilidades el rango de confort térmico, aún cuando el aire caliente suministrado se encuentre a la misma temperatura; así como el efecto contraproducente por condensación si los puntos de suministro se sitúan junto a ventanas. La figura 79, demuestra la forma en que la localización del suministro de aire caliente (zonas sombreadas en esquema de recinto) afecta el perfil vertical de temperatura. *Los sistemas Solar Roofing tile y OM Solar, logran niveles homogéneos en el perfil vertical de temperatura* conforme a lo comprobado en el tipo G. Mientras que *el sistema Matrixair, pierde temperatura por contacto con el suelo, y presenta un diferencial de temperatura vertical severo* conforme al esquema B sino se cuenta con muros



<sup>80</sup> CROISET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios*. Barcelona, España. 1976. P.p. 29-35

## 6.5. EFECTOS CONTRAPRODUCENTES

El fin último de un SCSA es proporcionar confort térmico, sin embargo, esto no deja de lado que se atienda a este problema se reste importancia a otros rubros del confort<sup>81</sup>; y que peor aún, la incorporación de un sistema de ésta naturaleza haya hecho perjuicios en otras áreas de confort que previo a la instalación no presentaban problemas. Entonces, un efectivo SCSA es aquél que en cuestión de confort atiende los siguientes parámetros:

- Factor físico: térmico, visual, lumínico y acústico
- Factor psicológico: percepción ambiental

En este apartado, no nos referiremos al confort térmico puesto que es punto principal del documento.

Factor lumínico y visual: El confort lumínico debe considerar, la cantidad de energía luminosa que incide sobre las superficies (luminancia), el deslumbramiento provocado por el excesivo contraste en el campo de visión, y el color de la luz, donde la sensibilidad más alta del ojo corresponde al color amarillo-verdoso. Por otro lado, el confort visual es la capacidad de percepción que ha de tener el ojo o las propiedades visuales del objeto a percibir. La dificultad de una tarea visual aumenta con la reducción del contraste de colores y de luminancia así como con la reducción del tamaño de detalle.

Todo SCSA que incorpore a la envolvente (sobretudo en fachadas), materiales con el fin de captar, almacenar o distribuir el aire caliente, no debe restar contacto visual o porcentaje de iluminación natural, puesto que sacrificar variables naturales del edificio no compensa de forma alguna la incorporación de otro sistema, aunque este tenga también su origen natural. Para aquellos inmuebles que tengan bajos niveles de iluminación natural, el diseño debe considerar una propuesta que al menos en parte, atienda la problemática, por ejemplo, empleando una tecnología traslúcida como TIM (ver capítulo 5.10) o alguna forma de área adosada tipo invernadero. En resumen, toda modificación o rehabilitación, deberá de tener en cuenta los factores lumínico-visuales, por el solo hecho de que la labor arquitectónica no puede estar desligada de otras variables de confort; siempre que la situación no presente características excepcionales como el caso de los sótanos, en cuyo caso se requerirá de un estudio especializado que no puede ser atendido por un SCSA.

Factor acústico: El nivel de confort acústico es el nivel de ruido a partir del cual el sonido provocado por las actividades humanas resulta pernicioso para el descanso, la comunicación y la salud de las personas. En aquellas situaciones donde el ruido es componente de infort para el usuario, debe diseñarse una forma de SCSA que combata estas molestias en la medida de lo posible. Pues para aquellos casos en

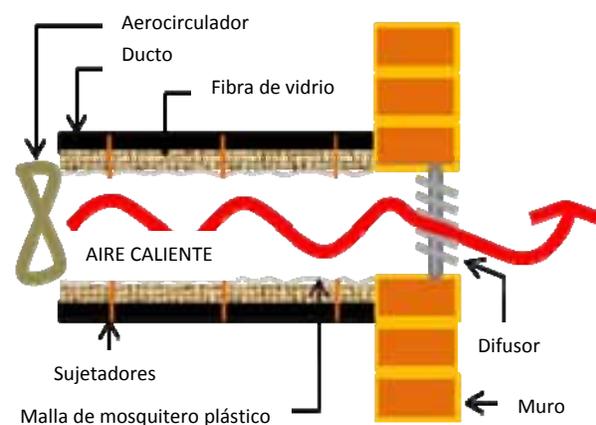


Fig. 80. Detalle de absorción acústica en ducto de suministro de aire caliente, proporcionado por el M.en Arq. A. Bautista Kuri

<sup>81</sup> Aquello que produce bienestar y que elimina sensaciones lo que impidan.

que las fuentes de ruido superan la capacidad de absorción o aislamiento acústico de los materiales que componen el SCSA, deberá de recurrirse a proyectos alternos que atiendan este problema, ya que no es fin último de un SCSA. Además, debe tenerse en cuenta que al emplear equipos de circulación forzada, se corre el riesgo de producir ruido, en tal caso debe entonces, de eliminarse el ruido mediante absorbentes acústicos. Se expone en la figura 80, de manera gráfica, la forma en que un ducto puede estar dotado de un absorbente acústico (fibra de vidrio) para que el ruido que produce el aerocirculador quede capturado en las fibras; para evitar que la fibra de vidrio se deshaga por efecto de la resistencia del aire a su paso, se aplica una capa de malla de mosquitero plástico que se fija con sujetadores hasta el ducto.

Factor de percepción ambiental: Al conjunto de consideraciones necesarias para adecuar los medios tecnológicos a las personas que interactúan con el ambiente, se le llama percepción ambiental. Esto es (en el aspecto tecnológico), si el sistema que se implemente produce variaciones tecnológicas en el contexto tan ajenas al usuario que este último perciba el ambiente como complicado, puede llegarse al punto de poner en desuso el sistema. El usuario debe sentir que controla el sistema y que tiene la forma de comprender lo que sucede en su proceso, es por eso que dotar a un SCSA de sencillos termómetros e higrómetros (existen dispositivos con ambas funciones) permite al usuario hacer uso consiente de cada uno de los elementos del sistema. A su vez, permite darle un mantenimiento óptimo y en muchos casos, este factor suele ser motivo de elección del sistema por parte del usuario, para realizar inspección y un correcto y oportuno mantenimiento.



Fig. 81. Termómetro clásico de madera (der.) y termómetro digital (izq.)

La elección de un determinado dispositivo de control e información, se basa en las capacidades cognitivas y físicas del usuario, así como de las cualidades estéticas del interior de la vivienda (ver figura 81). Por eso, no existe duda que entre mayor tendencia a la autonomía a la hora de diseñar, se incrementa la posibilidad de proporcionar un sistema exitoso desde el punto de vista del usuario, en cuanto a utilización del sistema se refiere.

## 6.6. DISEÑO DEL SISTEMA

Como ya se ha visto, un SCSA se compone de cuatro partes fundamentales: unidad de colección, subsistema de distribución, subsistema de almacenamiento y controles y/o accesorios. Estas cuatro clases de elementos pueden estar concentradas en algún punto del edificio, o bien pueden estar desplegadas por el edificio; motivo por el cual, la unidad de colección solar, distribución y almacenamiento no fueron especificadas como un dispositivo en los capítulos 2 y 3, porque el resultado de un SCSA puede darse como parte de la envolvente y no solo como un dispositivo. Estos sistemas no tienen restricción en cuanto a simpleza o complejidad, sin embargo, entre más sencillo, más fácil de comprender para el usuario y por lo tanto de mantenerlo, limpiarlo y utilizarlo, más fácil de realizar sustituciones y por lo tanto mayor tendencia de adquirir un SCSA por parte del cliente. Tampoco existe una restricción para considerar que deba haber un sistema central para todo el inmueble, sin embargo, un diseño de este tipo provoca recorridos más largos para el fluido caloportador para realizar la entrega de aire caliente.



La forma más eficiente de distribuir energía solar, es diseñar los espacios a calentar e manera de capas de manera tal que la energía colectada y almacenada en el espacio o espacio adyacente a donde será usado el calor, a esto se le conoce como zona térmica (thermal zoning). Si esta forma de distribución no es posible, la energía tendrá que ser transportada hacia los espacios a través de ductos. Por eso, se recomienda que entre más cerca se encuentre la unidad de colección solar de la zona donde se suministra el calor, se obtendrán mejores rendimientos; eliminando así la instalación y costo ductos y en muchas ocasiones, también aerocirculadores. A partir de esto, un sistema que involucre varios subsistemas es más eficiente que un sistema central. Un factor que determina la configuración del sistema, es la localización del subsistema de almacenamiento que bien puede ser primario, secundario o remoto (ver capítulo 3.1.), generando un tipo de SCSA de acuerdo a la interacción de elementos (ver capítulo 3.10). Sin embargo, la decisión final del diseño de un sistema se basa en gran medida en la posibilidad estética y técnica del edificio ya que se busca ante todo una integración arquitectónica del SCSA en el edificio.

### 6.7. EFICIENCIA Y EFICACIA DEL SISTEMA

El rendimiento de un sistema solar térmico depende de varios factores: condiciones climáticas locales, área y tipo de colector solar, carga térmica, etc. También la temperatura del ambiente influye de forma notable sobre el rendimiento del sistema. Por consiguiente, las prestaciones de un sistema pueden variar mucho en función de la zona de instalación. Sin embargo, la unidad que define principalmente el grado de eficiencia del sistema es la unidad colectora. Por otro lado, la eficacia del sistema está determinada por la capacidad de éste de ofrecer la respuesta a una demanda determinada del usuario.

La eficiencia de un colector solar de aire está definida como la proporción de la energía transferida utilizable del aire caloportador durante su paso por el colector y la incidencia de la radiación solar, y el rango de eficiencia está basado en la cantidad de calor que es recuperado por el colector comparado con la cantidad de radiación incidente sobre la superficie del colector<sup>82</sup>. La eficiencia de un colector está condicionada por las propiedades físicas del cristal (véase 2.3.), aislamiento térmico (véase 2.4.), emitancia del absorbedor (véase 2.6.), inclinación del colector (véase 2.8.), tasa de flujo de aire y deflectores (véase 2.9). Por último, la eficiencia está determinada por la temperatura exterior y la temperatura mínima utilizable requerida del colector. La ganancia de calor mensual de un colector ( $Q_c$ ) está estimada a partir de la ecuación:

$$Q_c/\text{mes} = I_c \times D \times PA \times DM \times CA \times E$$

Donde:

$I_c$  = Valor de insolación en día despejado dando en Btus/hr disponible en el colector con orientación sur en función de la latitud e inclinación (ver 2.8)

$D$  = Factor de corrección respecto la desviación del colector con el sur, donde hasta 10° de desviación no tiene un efecto significativo.

$PA$  = Porcentaje real de insolación. Obtenido a partir de el promedio de horas de insolación por día contra un día al 100% despejado, y no se considera la radiación difusa.

$DM$  = Días por mes.

$CA$  = Área neta de colector. No se toma en cuenta la carcasa.

$E$  = Promedio mensual de eficiencia de colección en función de la insolación, temperatura ambiente y mínima temperatura requerida.

---

<sup>82</sup> Watson, Donald. Designing and building a solar house. Capital city press. Vermont, USA. 1981. P.p.81

La eficiencia del sistema es un factor crucial en el momento de la elección, y si bien un sistema de este tipo no puede sufrir daños por sobrecalentamiento, puede producir efectos negativos en el confort, sobretodo en época de calor. Por eso un sobredimensionamiento de ninguna forma es recomendable, porque además de provocar problemas de inconfort térmico, también está generando gastos económicos innecesarios al exceder la cantidad de material empleado. Además de considerar la eficiencia del colector, debe darse atención en las pérdidas de calor del inmueble y del sistema como un todo, y son las ventanas simples o muros mal aislados, fugas importantes de calor que solo pueden ser compensados en parte por la colocación de difusores en esas zonas, sin embargo, la calidad del resultado final de un SCSA se ve mermado por malas condiciones de hermetismo y aislamiento. La colocación de elementos de control solar (cortinas y persianas), también repercute en las pérdidas de calor a través de ventanas, aún cuando éstas cuenten con doble vidrio y cámara de aire, por lo que considerar el diseño interior (acabados finales y dispositivos de control solar) de un recinto al diseñar un SCSA tiene especial consideración. También los ductos con un mal funcionamiento pueden tener escapes de aire acondicionado que reducen la eficiencia de su sistema en un 20%.

Nombre	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	M. Trombe	Cansolair	S.R. Tile	Sunmate
Tasa de flujo de aire ( $m^3/h/m^2$ )	160	130	120	73	70	120	45	150

Tabla 14. Comparativa de flujo necesario de aire para funcionamiento eficaz del sistema

Proporcionar a un sistema la tasa de flujo correcta, afecta considerablemente la eficiencia de un sistema, ya que la eficiencia puede decrecer si se suministra más o menos aire si el sistema tiene baja capacidad para calentar rápidamente en el primer caso (tasa de flujo de aire alto). *Los sistemas watergy, solarwall y twinsolar son capaces de soportar flujos de aire a gran velocidad*, lo que implica que sistemas de ésta naturaleza tengan una respuesta a la entrega de aire caliente más acelerada. Sin embargo, la tasa de flujo de aire por sí sola, no indica el porcentaje de eficiencia del sistema en su conjunto.

Ya se ha mencionado que la eficiencia está determinada por la temperatura exterior y la temperatura mínima utilizable requerida del colector. En base a estas variables, los fabricantes otorgan el porcentaje de eficiencia, que no es más que la capacidad del sistema para aprovechar la energía solar y realizar la conversión fototérmica. Cabe aclarar, que muchos productos carecen de tan importante información sobretodo porque las variables climáticas y de condiciones propias dificultan un dato preciso. Existen factores que además afectan la eficiencia del sistema como la relación absorptancia-emisancia de la placa absorbadora de la unidad de colección (ver tabla 4 y tabla 17); el tipo de colector en base a la colocación de placa absorbadora (ver capítulo 2.7); la inclinación y orientación de la unidad colectora (ver capítulo 2.8); y el uso de deflectores (ver capítulo 2.9). Como punto adicional, el sistema Cansolair emplea el principio de deflectores en su serpentín de latas, principio que puede ser empleado e incorporado bajo otro concepto estético, y con la ventaja del ahorro económico y bajo impacto ambiental con uso de material reciclado (ver figura 82).

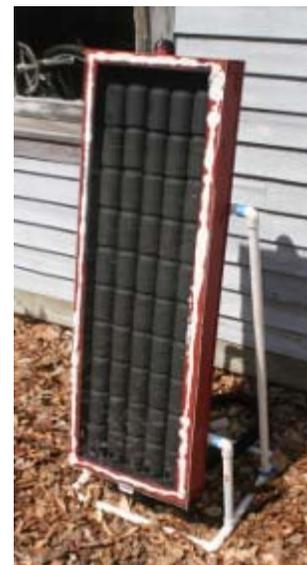


Fig. 82. Fabricación casera de un colector solar de aire sin vidrio empleando latas de refresco



## 6.8. INERCIA TÉRMICA, AISLAMIENTO Y HERMETISMO

Un SCSA debe estar complementado con un buen aislamiento térmico del recinto evitando pérdidas de calor y puentes térmicos, pero permitiendo una adecuada renovación del aire al no crear un local por completamente hermético. Cabe destacar que una propuesta de SCSA que no considera aislamiento térmico para el inmueble carece de validez. Adicionalmente, un buen aislamiento, reduce considerablemente la demanda energética y por lo tanto el tamaño del sistema de calefacción. A partir de esto, el estudio que se lleve a cabo en el sitio, también debe considerar una propuesta de aislamiento térmico del recinto en caso de ser necesario. La cantidad de aislamiento deseada se encuentra en relación directa con la diferencia que existe entre las condiciones térmicas exteriores y los requerimientos de control. La capacidad calorífica es esencial en los casos en lo que la inclinación de la curva de temperatura diaria (equivalente a la amplitud) es muy pronunciada y la curva diaria resultante permanece en la zona de confort; pero bajo condiciones estacionales extremas el factor más importante es el coeficiente de aislamiento.

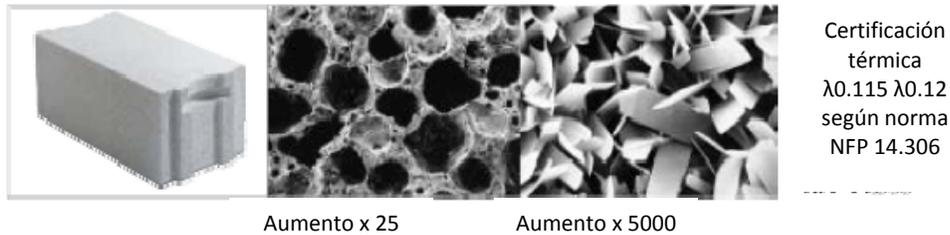


Fig. 83. Hormigón celular YTONG. Este material basa sus características de aislante térmico en el principio de que El concepto de un material aislante consiste en atrapar el aire dentro de células independientes las unas de las otras, creando de este modo una ruptura térmica.

Todos los efectos caloríficos externos deben traspasar la piel externa del edificio antes de afectar las condiciones de temperatura interior. La característica más importante para el control térmico de los materiales es su comportamiento desde el punto de vista de la transmisión.

La variación diaria de la carga calorífica origina su correspondiente oscilación en el interior de la estructura, pero con dos diferencias: (1) el ciclo interno se amortiguará, es decir, las variaciones serán más pequeñas (la amplitud de sus movimientos disminuirá) y (2) el ciclo interno sucederá al

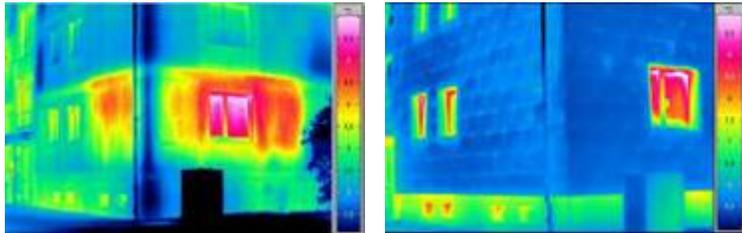


Fig. 84. Termografía de un edificio antes (izq.) y después (der.) de la rehabilitación en su aislamiento térmico. Las zonas rojas muestran las zonas con pérdidas de calor. [www.infratec.de/index.php?id=55&L=2](http://www.infratec.de/index.php?id=55&L=2)

externo, es decir, ambos ciclos estarán desfasados. El primer efecto depende del valor aislante del material, caracterizado como factor U (coeficiente de transmisión de calor expresado en  $\text{Kcal/h/m}^2$ ). A menor valor U, mejor efecto aislante. Esta interferencia en el paso de calor se conoce generalmente como “aislamiento resistente” (ver apéndice A.5.), ya que permite reducir el flujo de calor. El segundo efecto es tratado más adelante bajo el nombre de capacitancia. El aire estático es uno de los mejores elementos aislantes, aquellos materiales que contienen burbujas de aire atrapado en su interior tienen un índice de transmisión de calor más bajo y son generalmente más livianos. Para obtener el valor U de muros, ventanas y techo, se utiliza la siguiente ecuación:  $U = 1 / (1/h_e + e_n/k_n + 1/h_c + e_n/k_n + 1/h_i)$ .

Es posible establecer una relación directa entre el nivel máximo de temperatura anual y el valor de aislamiento necesario, y confirmar una correlación paralela entre el índice de temperatura diaria y los requerimientos de capacidad calorífica. Leroux<sup>83</sup> recomienda que en aquellas zonas donde el margen diario se encuentra entre los 6 y 8°C la construcción se realice con material pesado, de aproximadamente 300 kg/m<sup>3</sup>; para temperaturas entre 10 y 12 °C, un peso entre 600 y 700 kg/m<sup>3</sup> y por encima de los 20°C, 1200 kg/m<sup>3</sup> o más. La regla es menos severa en cubiertas, porque su importancia en las pérdidas globales de una vivienda es menor, por otro lado, la rentabilidad de una mejora en el aislamiento de un techo es menos evidente, a causa de la presencia de numerosos puentes térmicos en la estructura.

La tabla 16 muestra los valores U que se basan en un índice de conductancia

superficial exterior de 4.0 y en uno interior de 0.00076 cal/cm<sup>2</sup>/min; cabe subrayar que para construcciones compuestas es necesario añadir un retardo adicional a la suma de retardos individuales; es costumbre añadir media hora adicional en aquellas construcciones ligeras de dos capas y una en las pesadas, de tres o más capas. Para suelos sobre terreno no es necesario aislamiento nada más que alrededor del edificio. Para suelos sobre cámara de aire, el aislamiento será función del grado de ventilación necesario para que la cámara cumpla su función, lo mejor es prescindir de ventilar la cámara de aire, para que el aire constituya por sí mismo el aislamiento, restando sólo el problema de puente térmico por el contacto de muros con piso.

El efecto de cambio de fase del aislamiento proporciona el retardo suficiente como para utilizar los impactos de radiación externos durante las horas de más calor en periodos de frío, y transmitir calor durante las horas de bajas temperaturas como la noche. Por eso, a mayor capacidad acumulativa de calor en materiales, menor variación de temperatura propagada a través del material. El retardo producido por esta transmisión se conoce como inercia térmica (ver apéndice A.5.); y proporciona la posibilidad de almacenar las cargas que se producen en los momentos punta de calor y liberarlas en momentos de baja temperatura. Los materiales de gran inercia térmica son generalmente densos y su efecto se asocia, por lo general, directamente con su peso.

Material	Espesor (cm)	Valor U	Retraso (hrs)
Piedra	20	0.00031	5.5
	35	0.0025	8.0
	41	0.0022	10.5
	61	0.0017	15.5
Concreto	5	0.0045	1.1
	10	0.0041	2.5
	15	0.0034	3.8
	20	0.0030	5.1
	30	0.0025	7.8
	40.6	0.0021	10.2
Ladrillo	10	0.0028	2.3
	20	0.0019	5.5
	30	0.0014	8.5
	40.6	0.0012	12.0
Madera	1.25	0.0031	0.17
	2.5	0.0022	0.45
	5	0.0014	1.3
Panel aislante	1.25	0.0019	0.08
	2.5	0.0012	0.23
	5	0.00065	0.77
	10	0.00037	2.7
	15	0.00023	5.0

Tabla 16. Coeficiente de transmisión calorífica total (U) y tiempos de inercia

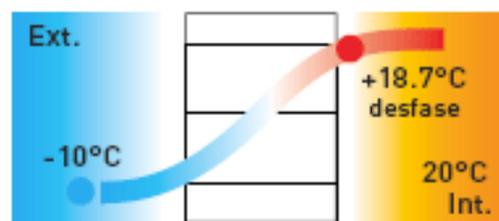


Fig. 85. Retardo térmico debido a la alta inercia térmica del muro.

<sup>83</sup> LEROUX, Robert. *La Clim30atologie de l'Habitation*. Institute Technique de Batiment et des Travaux publics, Circularie Serie B, no. 7,40.6 1946.

En diseño, la utilización apropiada tanto de aislamiento como de la inercia son muy importantes para conseguir el equilibrio calorífico del interior. Este efecto reduce simultáneamente la amplitud de impacto y se denomina generalmente “capacidad aislante”. Esto puede definirse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D = k/\rho c \text{ (m}^2\text{/h)}$$

Donde:

D = Difusividad térmica/Capacitancia

k = Conductividad térmica (Kcal/m<sup>2</sup>/h °C)

ρ = Densidad (kg/cm<sup>3</sup>)

c = calor específico (kcal/kg °C)

## 6.9. INTERCAMBIO DE CALOR

**POR CONVECCIÓN:** El impacto calorífico por convección se encuentra en función del intercambio con la temperatura del aire circundante, y puede acelerarse a través del movimiento del aire y de la radiación solar. Bajo condiciones de ausencia solar como la noche, periodos fríos o en superficie que se encuentren rodeadas por objetos a baja temperatura el intercambio de calor trabajará negativamente produciéndose una pérdida calorífica en la superficie expuesta. La ganancia de calor, está dada también por las aportaciones de calor que la radiación solar proporciona; por lo que es importante realizar el cálculo de la posición solar (ver apéndice B.4.) y relacionarlo con la radiación global (ver apéndice B.2.) para el día de cálculo, obteniendo de ésta forma la temperatura sol/aire por hora. Las características selectivas de absorción (α) y emisión (ε) constituyen un factor primordial en los impactos de la radiación solar en los materiales absorbentes.

Aquellos materiales que reflejan más radiación de la que absorben (ver apéndice B.3.), y que expelen rápidamente la cantidad absorbida en forma de radiación térmica, producirán temperaturas más bajas dentro de la edificación. Los materiales blancos pueden reflejar el 90% o más de la radiación recibida, y los negros 15% o menos. Las características de los materiales desde el punto de vista de la reflexión del calor a través de longitudes de onda infrarrojas depende más de la

Tipo de superficie	α	ε
Negro de Ni sobre Ni	0.93	0.06
Ni-Zn-S sobre Ni	0.96	0.07
Negro de Cr sobre Ni	0.92	0.10
Negro de Fe sobre acero	0.10	0.10
Negro de Zn	0.90	0.10
Negro de Cr	0.90	0.10
Negro de Cu sobre Cu	0.89	0.10
Oxido de Cu sobre Al	0.93	0.11
Oxido de Cu sobre Ni, por deposición de electrodo de Cu y oxidación posterior	0.81	0.17
Elbanol C sobre Cu, ennegreciendo la superficie de Cu con capas de CuO.	0.81	0.10
Oxido de Cu sobre Al anodizado tratado con solución caliente de Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -KMnO <sub>4</sub>	0.85	0.11

densidad de su superficie y de su composición molecular que del color.

Tabla 17. Propiedades superficiales selectivas de materiales utilizados en procesos térmicos de energía solar.

El comportamiento selectivo de los materiales bajo radiación solar y térmica puede emplearse de acuerdo a las circunstancias climáticas. En aquellas zonas en las que el periodo de frío es extenso, resulta favorable elegir un índice de reflexión solar bajo. Las temperaturas sol/aire (T<sub>s/a</sub>) es obtenida a partir de la ecuación:

$$T_{s/a} = T_{amb} + (HT*\alpha/ho)-(DR*\epsilon/ho)$$

Donde:

$T_{amb}$  = Temperatura del ambiente exterior

HT = Radiación global solar ( $w/m^2$ ) medido por piranómetros

$\alpha$  = Absortancia de superficies (%)

$\epsilon$  = Emitancia de superficies (%)

DR= Para superficies verticales y ventanas DR=0

ho= Suma del coeficiente de convección y coeficiente de radiación  $ho= h_w + h_r$

$h_w$  = Coeficiente de convección  $h_w = 32.7 + 13.7 * W$

$h_r$  = Coeficiente de radiación  $h_r = 4\delta \epsilon T^3 \delta^{84} = 5669 * 10^{-8} W/hm^2K^4$

**POR CONDUCCIÓN:** Los materiales absorben humedad según sus cualidades higroscópicas. En general, las sustancias orgánicas tienen mayores propiedades absorbentes que las inorgánicas. Con un contenido alto de humedad, los materiales presentan una mayor capacidad de transmisión de calor debido a la relativamente alta conductividad (ver apéndice A.3.) térmica del agua. Experimentos realizados, muestran el efecto de la humedad higroscópica en la conductividad térmica de materiales inorgánicos en relación a su volumen, y de materiales orgánicos en proporción directa a su peso<sup>85</sup>. Es preciso mencionar que un problema relacionado con la humedad, y que se considera independiente del comportamiento térmico, consiste en la creación de condiciones críticas producidas por efecto de la condensación (ver capítulo 6.2).



Fig. 86. Efectos de la humedad en materiales cuando RH (humedad relativa) <50% y >50%, de izquierda a derecha: corrosión, condensación y absorción de humedad en materiales de cualidades higroscópicas.

Por otro lado, el flujo calorífico aumenta en el sentido de las temperaturas decrecientes. Y ya que el flujo de calor es proporcional a la superficie, es decir, cuanto mayor sea la superficie a través de la cual se produce el flujo, más facilidad tiene éste para transmitirse; si la superficie es muy pequeña, el flujo verá entorpecida la acción de transferir energía. En cambio, es inversamente proporcional a la distancia; esto es, si la distancia es pequeña a la fuente de calor, el flujo ve facilitada su tarea, y si por el contrario, es grande, la ve entorpecida. Es por eso, que el coeficiente de conductividad térmica, depende de la superficie, espesor, diferencia de temperaturas y propiedades de conductividad térmica del material. Así, los altos coeficientes de conductividad térmica corresponden a buenos conductores del calor, y los bajos coeficientes de conductividad térmica a los aislantes térmicos. Generalmente, la dirección del flujo parte desde el interior cálido hacia el frío exterior. Para obtener los valores de flujo de calor por conducción ( $Q_{cond}$ ) se recurre a la siguiente ecuación:

$$Q_{cond} = U \times A (T_{sa} - T_{int})$$

Donde: U = Coeficiente global de transferencia de calor y A = Área de muro, techo o ventana

<sup>84</sup> Constante de Stefan-Boltzmann: constante física que relaciona temperatura absoluta y energía.

<sup>85</sup> NATHAN, H.A.G. *Moisture content and heat insulating properties of building materials*. National Research Council of Canada. TT-95.Canada, 1949.



**POR RADIACIÓN:** Las fuerzas térmicas que actúan en el exterior de una edificación son una combinación de los impactos por convección y radiación. La radiación total está compuesta por la radiación solar incidente y por el intercambio de calor con la temperatura del aire del entorno y del cielo. Debido a que la temperatura superficial de un material expuesto al asoleo directo será mayor que la del aire que lo rodea, los movimientos del aire a su alrededor reducirán los impactos caloríficos externos.

La radiación solar atraviesa las superficies traslucidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores de los locales, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior. El efecto de intercambio de calor puede incrementarse distribuyendo la radiación solar sobre una mayor superficie, es decir, introduciendo superficies curvas, corrugadas o desiguales, que incrementarán simultáneamente el índice de transferencia por convección. Los datos resultantes (ver anexo A), están basados en la ecuación:

$$Q_{shg} = A_v * F_c * HT$$

Donde:

AV = Área de la ventana

Fc = Fracción de radiación solar que pasa por la ventana

HT = Radiación global ( $w/m^2$ )

**POR INFILTRACIÓN:** La infiltración, es flujo de aire no controlado a través de grietas, intersticios y otras aberturas no intencionales. La infiltración es la entrada de aire desde el exterior por fenómenos o usos en principio no considerados, pero que afectan o son asumidos para la ventilación, por ejemplo, rendijas en puertas o difusión a través de determinadas superficies. Las cargas de temperatura diaria, cuyas fluctuaciones son más o menos sinusoidales<sup>86</sup>, se retardan y experimentan distorsiones en su amplitud al filtrarse a través de los elementos de la fachada.

$$Q_{inf_s} = 0.278 * camb * vol * \rho * c_{pa} * (T_{amb} - T_{int})$$

$$Q_{infl_L} = 0.278 * camb * vol * \rho * H_{vap} * (w_{amb} - w_{int})$$

Donde:

$Q_{inf_s}$  = Flujo de calor por infiltración

$Q_{infl_L}$  = Flujo de calor por infiltración

$\rho$  = Densidad de aire ( $1.18 \text{ kg/m}^3$ )

$H_{vap}$  = Calor latente de vaporización ( $2,468 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$ )

Camb = Cambio de aire por hora

Vol = Volumen de la habitación ( $m^3$ )

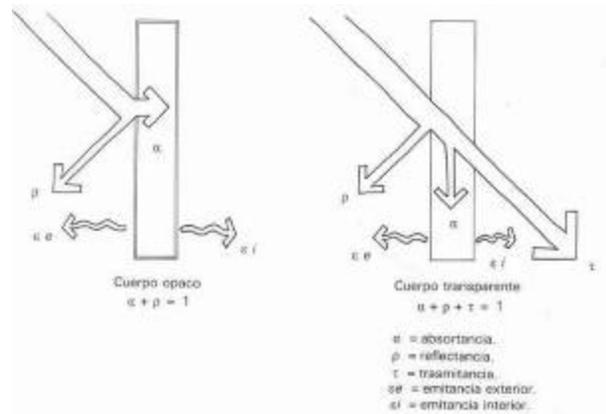


Fig. 87. Transmisión de radiación solar en un cuerpo opaco (izq.) y en un cuerpo traslúcido (der.).



Fig. 88. Infiltraciones en una vivienda

<sup>86</sup> Sinusoide: Curva que representa las variaciones del seno al variar el arco.

**POR VENTILACIÓN:** Las fuerzas que proporcionan la ventilación natural en la edificación pueden agruparse según las siguientes categorías: (1) movimientos del aire producidos por diferencia de presión, y (2) intercambio del aire por diferencia de temperatura. Resulta que el movimiento de aire que rodea una edificación crea zonas de baja presión en los lados adyacentes a la fachada de mayor exposición; los modelos de movimiento del aire alrededor del edificio vienen determinados por la geometría de la edificación y son independientes de la velocidad del viento. La proporción de intercambios de aire se encuentra regida por las diferencias de presión y por la eficacia de las aberturas expuestas. La proporción aproximada de intercambio de aire, cuando la dirección del viento es perpendicular a una de las fachadas del edificio y las zonas de entrada y salida son equivalentes, pudiendo expresar de la siguiente manera:

Sup. entrada /sup. salida	Valor a sustituir los 3150
1:1	3150
2:1	4000
3:1	4250
4:1	4350
5:1	4400
3:4	2700
1:2	2000
1:4	1100

Tabla 18. Sustitución de valores para obtener G conforme a superficie de entrada y salida

$$G=3150 AV$$

Donde:

G= promedio del flujo de aire; m<sup>3</sup>/seg

A = área de entradas; m<sup>2</sup>

V= Velocidad del viento; m/seg

La anterior expresión requiere de ciertos ajustes en aquellos casos en los cuales la superficie de salida, muestra una diferencia apreciable en relación con la de entrada, de la siguiente forma:

$$Q_{vent_s} = 0.278 * \rho * c_{pa} * G (T_{amb} - T_{int})$$

$$Q_{vent_L} = 0.278 * \rho * H_{vap} * G (T_{amb} - T_{int})$$

Donde:

Q<sub>vent<sub>s</sub></sub> = Flujo de calor por ventilación

Q<sub>vent<sub>L</sub></sub> = Flujo de calor por ventilación

ρ = Densidad de aire (1.18 kg/m<sup>3</sup>)

H<sub>vap</sub> = Calor latente de vaporización (2,468 KJ/kg°C)

G = Flujo de aire (m<sup>3</sup>/min)

W<sub>amb</sub> = Humedad específica ambiente

W<sub>int</sub> = Humedad específica interior

**POR GANANCIAS INTERNAS:** Se requieren conocer aquellas condiciones que proporcionan ganancias de calor al interior como equipo eléctrico y usuarios; estos datos, que, registrados en watts por hora, por cada dispositivo y por persona conforme a la actividades realizada, se obtiene un total como a continuación se presenta. (Ver apéndice sección D). Para ello, debe obtenerse una rutina de iluminación, ocupantes, equipo interno, aplicaciones y procesos que contribuyan a incrementar la carga térmica interna; misma que arroja datos horarios y por día.

$$Q_{met_s} = \text{Actividad en metS} * \text{Num personas}$$

$$Q_{vent_L} = \text{Actividad en metL} * \text{Num personas}$$

$$Q_{light} = (\text{Num Equipo 1} * W) + (\text{Mun Equipo 2} * W) + (\text{Num Equipo n} * W)$$



## 6.10. CIRCULACIÓN DE AIRE

La circulación del aire (natural o forzada) que deba implementarse para cada tipo de sistema de calefacción por aire, estará en función de: (1) necesidades del usuario, (2) condiciones de montaje, (3) orientación e inclinación de las superficies disponibles para la instalación, (4) condiciones climáticas del lugar, (5) dimensión del proyecto y (6) distancia entre colector y zona a calefactar. La elección de uno y otro sistema, depende en gran medida de las condiciones antes citadas, sin embargo, el esfuerzo por diseñar un sistema pasivo tiene como resultado una reducción económica y bajo impacto ambiental.

Se sabe que los inmuebles que cuentan con sistemas pasivos y aislamiento eficiente pueden proveer hasta el 99% de energía requerida para calefacción<sup>87</sup>. De utilizarse un diseño pasivo, se pueden reducir significativamente las cuentas por gasto energético, se incrementa la vitalidad espacial y se mejora el confort, además, implica bajo mantenimiento y ofrece un periodo de vida más prolongado para el inmueble. Diseñar enteramente con el sol, produce que a pesar de instalar ciertos materiales o sistemas que en principio tengan costo elevado, en poco tiempo se paguen por sí mismos; ya que el tiempo de amortización en algunos casos es de máximo 5 ó 6 años. Además los edificios del siglo XXI, que para denominarlos “de vanguardia” deben tener calificativos de eficiencia energética, confortables y costeables.

Nombre	Sunmate	Trombe	TIM	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	S.R Tile
C.Nat.	•	•	•							
C.Forz.	•			•	•	•	•	•	•	•

Tabla 19. Comparativa de la forma de circulación del aire en los sistemas (natural o forzada)

*El Muro Trombe-Mitchell y el sistema con aislante traslúcido TIM, son sistemas que no requieren de aerocirculadores lo que los convierte en 100% sistemas pasivos; sin embargo, el caso del dispositivo Twin Solar no queda excluido de la clasificación anterior, ya que por poseer un panel fotovoltaico que acciona el movimiento del impulsor de aire al interior, no se requiere consumir energía por medios convencionales, sino que se abastece a sí mismo para trabajar energéticamente de forma autónoma. De esta forma, se considera que el sistema que utiliza dispositivos Twin solar y Sunmate no requiere de aerocirculadores en el caso de que el suministro se haga por la zona inferior del volumen de ocupación (ver capítulo 1.8).*

Bajo el concepto anterior, a pesar de utilizar un aerocirculador y por esto considerarse una forma de circulación forzada; no por ello implica que el sistema adquiera el carácter de activo. Esto es, cualquier mecanismo que necesite de energía extra para trabajar (caso de aerocirculadores) y que consuman energía, se clasifican como de circulación forzada en un sistema activo; sin embargo, si la energía de la que se vale el equipo impulsor de aire obtiene su energía de una fuente natural como un aerogenerador o celdas fotovoltaicas, resulta ser una circulación forzada dentro de un sistema pasivo (ver capítulo 1.8). Entendiendo que resulta complicado suministrar aire caliente a zonas bajas de los recintos donde es más necesario, mientras que el aire caliente (menos denso y por lo tanto más ligero) tiende a ascender; dificulta la mayoría de las ocasiones, utilizar una circulación natural. Se alienta a utilizar energías renovables como parte del proyecto, que suministren energía eléctrica a los aerocirculadores, atendiendo de esta forma a la reducción del impacto ambiental.

<sup>87</sup> Metro Parks. [www.metro parks.net](http://www.metro parks.net) Fact Sheets. Ohio, USA.

## 6.11. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Aunque las dimensiones de un subsistema de almacenamiento suelen estar limitadas por el área disponible, también los tamaños de contenedor disponibles y los factores de diseño solar, suelen influir, sin embargo dependiendo del clima local invernal, es aconsejable limitar el tamaño del contenedor a un día de almacenamiento<sup>88</sup>. Aunque existen diversas formas de almacenamiento de calor, se recomienda el uso de roca por la accesibilidad a las mismas en cualquier proyecto; más no se excluye la posibilidad del uso sales hidratadas por ejemplo.

La capacidad de almacenamiento por unidad o la cantidad de calor que puede ser conservada en un volumen dado de piedras, se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Btus/unidad de volumen} = \text{Densidad} \times \text{Calor específico} \times \text{dTTS}$$

Donde:

dTTS = Diferencial de temperatura de almacenamiento.

La temperatura utilizable que puede ser almacenada y recuperada efectivamente, la temperatura utilizable depende de las características especiales de cada subsistema, pero se considera un estándar oscila entre 130°-85° F, por lo que 45°F es la temperatura utilizable. Ahora bien, la densidad de roca sólida es de 140 libras por m<sup>3</sup>, donde se asume que el 30% del volumen del subsistema de almacenamiento con roca es aire, obteniendo una densidad de roca igual a 100 lb/m<sup>3</sup>. El calor específico promedio de la roca es de 0.2 Btus/lb/°F.

$$\text{Btus almacenada/ft}^3 = 100 \text{ lb/ft}^3 \times 0.2 \text{ Btu/lb/}^\circ\text{F} \times \text{dTTS} (0.20) \times \text{dTTS}$$

La capacidad de transferir calor al periodo subsecuente de tiempo, o el número de horas que el calor almacenado en un volumen dado proveerá calor utilizado, está representado por el diseño de pérdidas de calor y se estima con la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de transferencia en horas} = \frac{\text{Btus almacenado/volumen}}{\frac{1}{2} \times \text{DHL (Btus/hr)}}$$



Fig. 90. Tanques de agua para almacenar calor en un invernadero adosado.

El hecho de emplear un subsistema de almacenamiento, no implica que este debe estar siempre enterrado, así como la integración de un SCSA depende del ingenio del diseñador; también la forma de almacenaje se deriva de la creatividad con que se proyecta. La figura 89, exhibe un ejemplo en que las rocas fueron depositadas en un contenedor metálico con malla, conformando un muro donde se hace pasar el aire caliente para que una vez que haya ausencia de radiación solar el SCSA continúe su funcionamiento. Por otro lado, el agua que tiene buena capacidad de almacenamiento térmico, puede estar alojada en depósitos ubicados de forma estratégica en un invernadero adosado (ver figura 90), tal vez incluso, perteneciendo al mismo mobiliario.



Calentamiento solar por aire



Fig. 89. Muro de piedras enclaustradas por estructura metálica.

<sup>88</sup> Watson, Donald. Designing and building a solar house. Capital city press. Vermont, USA. 1981. P.p.264

## 6.12. CONTROL Y USUARIO

Existe una estrecha relación entre la automatización y la circulación artificial; ya que se requieren de termostatos que activen los aerocirculadores cuando la temperatura abandona el rango de confort establecido. A causa de esto, se produce una relación entre circulación de aire natural y el control efectuado por usuario. La independencia del manejo de los controles y el tiempo de respuesta de los mismos tiene particular importancia. Entre más automatizado esté el sistema mayor comodidad se ofrece a quien utiliza el sistema, por lo que incluir termostatos que conserven una confort térmico estable permite acercar al edificio a una categoría de energéticamente autosuficiente. En caso de carecer de un sistema de acción retardada, se recomienda el monitoreo de la temperatura exterior e interior por medio de sencillos termómetros que informen al usuario lo que ocurre térmicamente.

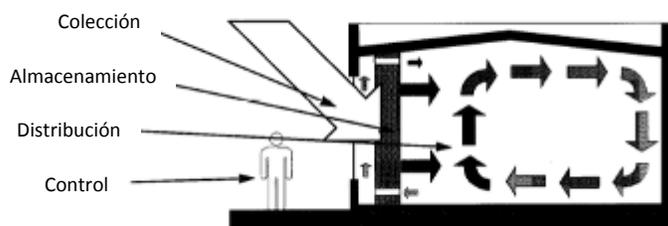


Fig. 91. Control de sistema hecho por usuario

Actualmente existen variadas formas de sensores y microprocesadores que ofrecen información completa de las condiciones del tiempo y condiciones ambientales interiores. Los sistemas carentes de mecanismos automáticos para activar

aerogeneradores o cerrar o abrir compuertas para permitir o cancelar el flujo de aire, requieren de la adquisición de sencillos hábitos para el empleo del sistema. Basta en primer término, de explicar al usuario la forma en que opera el sistema, la forma en que se controla y señalar los momentos en que es más propenso el sistema a tener pérdidas en vez de ganancias, por ejemplo, el término de la noche, periodos de nubosidad, etc.

Uno de los temores que surge ante la aplicación de un re-acondicionamiento térmico de viviendas, en el cual se emplean sistemas de control pasivos, es la posibilidad de encontrar cierto rechazo por parte de los usuarios. En primer lugar, porque parece que el hombre poco a poco se ha ido acostumbrando a ambientes cada vez más artificiales ya que, después de todo, pasa gran parte de su tiempo en sitios acondicionados de este modo. Este mismo hecho dificulta la comprensión de las personas de que un espacio puede ser realmente confortable sin recurrir al uso de sistemas artificiales y/o mecánicos. No obstante, la idea es demostrar mediante un buen diseño que, las técnicas bioclimáticas de control pueden ser tan o más eficientes que las artificiales, siempre y cuando el inmueble en uso lo permita.

Una escasa consideración de los usuarios en el proceso de diseño, repercute negativamente en la usabilidad de los mismos. Aumentar el conocimiento del entorno de uso supone un avance significativo hacia procesos de diseño centrados en el usuario, ya que nos permite conocer mejor las necesidades de los usuarios, y por tanto, dar solución a numerosos problemas de usabilidad en las primeras fases del proceso de diseño, aún cuando las modificaciones sean sencillas y/o baratas<sup>89</sup>. La *usabilidad* es la medida en la cual un producto o sistema puede ser empleado por usuarios específicos para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado.

<sup>89</sup> HIDALGO Navarro, et.al. Usabilidad en la señalización de edificios. Psicología cognitiva aplicada. Universidad de Murcia. Enero, 2003.

### 6.13. VALOR EXPRESIVO

En la realización de la valoración estética, el hombre se basa en las leyes generales del conocimiento del desarrollo de los objetos, estableciendo una comparación entre la escala natural del objeto y la escala valorativa establecida por la sociedad. Esta escala valorativa humana está determinada histórica, social y culturalmente y caracteriza el vínculo de *lo posible* y *lo real*. Al aplicar la escala valorativa el hombre reacciona de manera diversa ante la *armonía* y la *ausencia de armonía* en la interacción entre él y la realidad objetiva. La relación sensoro-emocional que aporta al hombre disfrute y satisfacción estética posibilita el vínculo armónico de éste con la realidad. Las necesidades estéticas no están relacionadas directamente con las físicas. Las estéticas son necesidades ideales de comunicación, de creación, siguiendo las leyes de la belleza, desde posiciones que reflejen las representaciones establecidas y socializadas sobre *lo bello* y *lo feo*<sup>90</sup>. Al valorar el objeto desde el punto de vista estético el arquitecto tiene también en cuenta sus valores utilitarios, sus valores prácticos, su pertinencia y sus valores emocionales. En función de lo anterior, ha sido necesario recurrir a una encuesta a arquitectos de nivel posgrado con la capacidad de comprender la funcionalidad de la tecnología implicada en un SCSA; los resultados arrojados proporcionan un patrón general del valor estético que se le atribuye a cada tecnología del catálogo incluido en el capítulo 5 de este documento. A continuación se incluye una tabla que permite visualizar, el porcentaje que 22 arquitectos atribuyeron como valor estético (A) en una escala de 0 a 100, siendo 100 la puntuación más positiva, en este caso de alta atribución estética. Utilizando la misma escala se calificó, también con unidades de 0 a 100, la posibilidad de dar otra aplicación estética con el mismo principio de funcionamiento y el mismo fin que es suministrar aire caliente (B). Por otro lado, se han resaltado el porcentaje más alto ente 50 y 100. La columna titulada “% de votos a favor” expresa el porcentaje de los 22 arquitectos encuestados que votaron positivamente, considerados los votos como positivos a partir de 50 puntos.

	A				B			
	50	75	100	%votos a favor	50	75	100	%votos a favor
Solar wall	54%	9%	9%	<b>72%</b>	18%	31.5%	22.5%	<b>72%</b>
Matrixair	40.5%	13.5%	4.5%	<b>63%</b>	22.5%	22.5%	22.5%	<b>67.5%</b>
Watergy	22.5%	18%	27%	<b>67.5%</b>	22.5%	18%	22.5%	<b>63%</b>
OM Solar	36%	----	-----	36%	27%	4.5%	9%	40.5%
S.R.Tile	9%	4.5%	22.5%	36%	22.5%	4.5%	13.5%	40.5%
M. Trombe	27%	9%	13.5%	49.5%	31.5%	9%	22.5%	63%
Cansolair	31.5%	9%	4.5%	45%	36%	9%	9%	54%
TIM	36%	4.5%	13.5%	<b>54%</b>	31.5%	13.5%	13.5%	<b>58.5%</b>
Twinsolar	22.5%	----	4.5%	27%	27%	18%	4.5%	49.5%
Sunmate	33%	18%	4.5%	27%	36%	9%	22.5%	49.5%

Tabla 20. Comparativa del valor estético atribuido a las tecnologías del catálogo de SCSA

Las tecnologías *sollarwall*, *matrixair*, *watergy* y *TIM* obtienen el mayor número de votos a favor en cuanto a valor estético y posibilidad de dar otra aplicación estética con el mismo principio de funcionamiento y el mismo fin que es suministrar aire caliente. Sin embargo, las tecnologías con puntuación de 100 para valor estético es el sistema Watergy y Solar Roofing Tile; ambas tecnologías resultan ser sistemas de envolvente y no de dispositivo. A pesar de lo anterior, los dispositivos *cansolair*, *sunmate* y *twinsolar*, resultaron con la tasa de calificación más alta tanto

<sup>90</sup> CURBEIRA, Ana. *La conciencia estética y la valoración: consideraciones generales*. Universidad de la Habana, Cuba.



en el primer y segundo caso de la encuesta; lo que se traduce como un interés creciente de la comunidad por arquitectos por encontrar el mayor beneficio posible a la tecnología solar sin sacrificar el valor estético; ya que normalmente esta tecnología es rechazada por los inconvenientes estéticos que presenta.

#### 6.14. MANTENIMIENTO

Cuando una instalación solar está bien diseñada, y sobre todo correctamente instalada, no cabe duda de que su mantenimiento será más fácil y menos costoso. Empero, en el campo de las instalaciones solares es conveniente hacer labores de inspección y mantenimiento de forma periódica, aunque con un pequeño seguimiento rutinario, será suficiente para garantizar el correcto funcionamiento durante

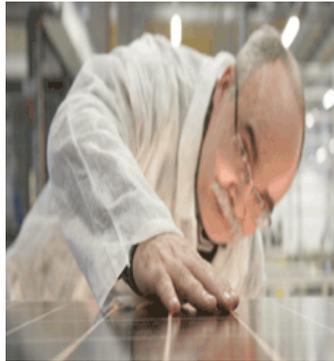


Fig. 92. La inspección básica del sistema debe poder ser realizada por el usuario (izq), y la inspección anual por personal calificado (der.)

la vida útil del sistema. El usuario previamente instruido por el proyectista, deberá hacer una labor de observación de los parámetros funcionales del sistema, para poder prever algún tipo de problema, es por eso que, entre más simple, claro y lógico a la vista del usuario sea el sistema mayor probabilidad de buen mantenimiento habrá. Asimismo, la empresa instaladora se encargará de una revisión anual en instalaciones menores de los 20 m<sup>2</sup>, y cada seis meses para las que superen esta superficie. La inspección, limpieza y comprobación de los distintos elementos del sistema, permiten una optimización del rendimiento energético de la instalación. Como ocurre con cualquier otra tecnología, la situación y conservación del equipo dependerá del uso que se haga de él, el usuario tiene que tener en cuenta que la mala utilización de las instalaciones, su sobrecarga o descuido, puede ocasionar alguna que otra avería. Es aconsejable, siempre que el equipo esté accesible, observar si existe alguna anomalía como aislamiento roto o pintura deteriorada, síntomas de corrosión o humedad dentro del captador. Se considera como avería funcional, si la temperatura de la casa disminuye significativamente durante la noche o la misma no se incrementa en el caso de que el día sea soleado.

	Trombe	TIM	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	SR Tile	Sunmate
Fácil	•	•		•	•	•				•
Difícil			•				•	•	•	

Tabla 21. Comparativa del nivel de complejidad para efectuar inspección, mantenimiento y limpieza

La tabla comparativa previamente incluida, representa el nivel de complejidad para identificar un problema de funcionamiento, mantener y limpiar el sistema; misma que expresa que, todos *aquellos sistemas en fachada tienen un nivel de "fácil" por su forma accesible al usuario*. Mientras que los sistemas que son por techo, representan una dificultad por lo delicado de revisar el sistema sin colocar peso en las zonas colectoras como el caso de OM Solar y S.R. Tile; o el sistema Cansolair que resulta complicado hallar una falla en el serpentín de más de 200 latas de aluminio. Esta información resulta una ventaja a la hora de seleccionar un SCSA, evitando problemas posteriores a los usuarios para las tareas antes descritas.

Los únicos cuatro sistemas que no facilitan el mantenimiento, inspección y limpieza son los sistemas Watergy, OM Solar, cansolair, S.R.Tile; y esto se debe a que el sistema Watergy requiere invertir en mantenimiento e inspección, OM Solar, depende de una unidad de manejo de aire que además de que puede presentar fallas se ubica en el techo dificultando su acceso, Cansolair genera una inspección muy complicada en el serpentín de latas de llegarse a presentar una disminución en la eficiencia del sistema y Solar Roofing Tile, tiene la particularidad de que pueden hacerse obsoletas las piezas que lleguen a dañarse por efecto de meteoros o por peso excepcional incluso a la hora de realizar limpieza.

### 6.15. AHORRO ENERGÉTICO, INVERSIÓN Y AMORTIZACIÓN

La calefacción solar por aire es un sistema ya probado, para calentar o precalentar aire para diversas aplicaciones. Como sucede con muchas otras utilidades de la energía solar, los primeros éxitos económicos se dan en áreas donde exista sol abundante y el combustible sea costoso o de difícil acceso. Aunque las aplicaciones térmicas de la energía solar requieren una inversión inicial más elevada que la de un sistema térmico tradicional, una vez que el sistema solar está instalado, los gastos de funcionamiento son mínimos y consisten únicamente en los escasos costos para el funcionamiento y el control del sistema, eventuales reparaciones y manutención periódica. En el caso de los sistemas que utilizan combustibles fósiles, en cambio, es necesario un suministro de los mismos y, por tanto, una compra, en función de la necesidad térmica además de los anteriores rubros de gastos mencionados para un sistema solar. Por tanto, es oportuno realizar un análisis económico detallado, de forma que se pueda evaluar si un determinado sistema solar es económicamente ventajoso para un determinado proyecto, lo que evita una postura predeterminada por seleccionar un sistema artificial o uno de energías renovables; pues cabe aclarar que no todas las situaciones son apropiadas para emplear un sistema de energías renovables, sin embargo, es lo que precisamente esta investigación persigue: proporcionar ideas y herramientas que solucionen el mayor número de casos con éxito.



Fig. 93. Inmueble y amortización

La calefacción representa el 64% del consumo energético total de una casa en clima frío, y un buen aislamiento térmico puede ahorrar entre un 20 y un 40% en calefacción. Además el hecho de inculcar el hábito en usuarios de abrir ventanas solo por 10 minutos cada hora, resulta suficiente para ventilar una habitación, ya que más de este tiempo se renueva innecesariamente el aire, se pierde más calor y se reduce la temperatura de la casa<sup>91</sup>. En resumen, los beneficios obtenidos de un sistema solar consisten en el ahorro de los gastos del combustible necesario para el funcionamiento y la prolongación de la vida de un sistema de calefacción tradicional (en caso de sistemas híbridos), al no ser utilizada durante el período solar. Además, la fiabilidad y eficiencia de los sistemas solares se han incrementado dramáticamente en los últimos años, haciendo de ellos opciones atractivas, sin embargo, todavía hay camino por recorrer.

<sup>91</sup> Consumer eroski. Ahorrar con la calefacción

[http://revista.consumer.es/web/es/20011101/practico/consejo\\_del\\_mes/29260.php](http://revista.consumer.es/web/es/20011101/practico/consejo_del_mes/29260.php)



	M.Trombe	TIM	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	S.R. Tile	Sumate
dlls	---	281/m <sup>2</sup>		15 /m <sup>2</sup>	2637			2500	7-12/m <sup>2</sup>	1672

Tabla 22. Comparativa del costo promedio por proyecto sin incluir costos por instalación y transporte

Bien es cierto que no podemos desentendernos completamente de las energías convencionales, para evitar grandes costos; eso sí, solo hace falta este apoyo en los días en que las condiciones sean adversas y por largos periodos, si el mal tiempo dura poco se tendrá bastante con los colectores solares. Por ello, y aunque recurramos a la electricidad y gas tradicionales, las facturas se verán reducidas en gran medida. A la hora de hacer la inversión para la instalación, el precio varía dependiendo del tipo de aparato que se quiera utilizar, su integración arquitectónica en el entorno, la accesibilidad, características de la vivienda. Pero siendo la cantidad que sea, el precio siempre se amortiza, además se reducen las facturas de combustibles fósiles, por el tiempo que dura la instalación funcionando.

	Trombe	TIM	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	S.R. Tile
-5 años	•			•	•	•		•	
+5 años		•	•				•		•

Tabla 23. Comparativa de los años necesarios para amortizar la inversión

## 6.16. ÉTICA MEDIOAMBIENTAL

La determinación de las causas del cambio climático ha sido un largo proceso y ha involucrado el trabajo de miles de científicos de todo el mundo. En 1995, alrededor de 2.500 científicos coincidieron, por primera vez, en afirmar que las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en las actividades humanas eran las responsables del cambio climático; por lo tanto, la cuestión ya no es más si los humanos estamos alterando el clima mundial, sino dónde, cuándo y en qué medida lo estamos haciendo. La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno y contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, helio, argón, neón y otros gases. Algunos de estos últimos, tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub><sup>92</sup>) y el metano (CH<sub>4</sub>), son los principales gases de efecto invernadero. Un gas de efecto invernadero es aquel que atrapa la radiación infrarroja (calor) en la atmósfera, lo cual deriva en el calentamiento del planeta. Los gases de efecto invernadero tienen diferente capacidad de calentamiento global, basada en su impacto radiactivo y su duración en la atmósfera.



Fig. 94. Ambiente y CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O

El gas de referencia tomado como unidad es el CO<sub>2</sub> y el potencial de calentamiento global se expresa en millones de toneladas de carbono equivalente (MTCE)<sup>93</sup>. Es por eso que las cantidades de CO<sub>2</sub> emitido o evitado son hoy día elementos principales para la aprobación de proyectos vinculados a los mecanismos de desarrollo limpio y de Implementación de la colaboración, y constituyen unidades básicas para el intercambio financiero generado alrededor de esta actividad.

<sup>92</sup> 1 tonelada de CH<sub>4</sub> = 21 toneladas de CO<sub>2</sub>; 1 tonelada de N<sub>2</sub>O = 310 toneladas de CO<sub>2</sub>

<sup>93</sup> BERRA, et. al. Emisión de gases de efecto invernadero. Instituto de Patobiología, INTA Castelar. Argentina 2003.

GAS	Potencial de calentamiento
Dióxido de carbono (CO2)	1
Metano (CH4)	21
Oxido Nitroso (N2O)	310

Tabla 24. Gases efecto invernadero

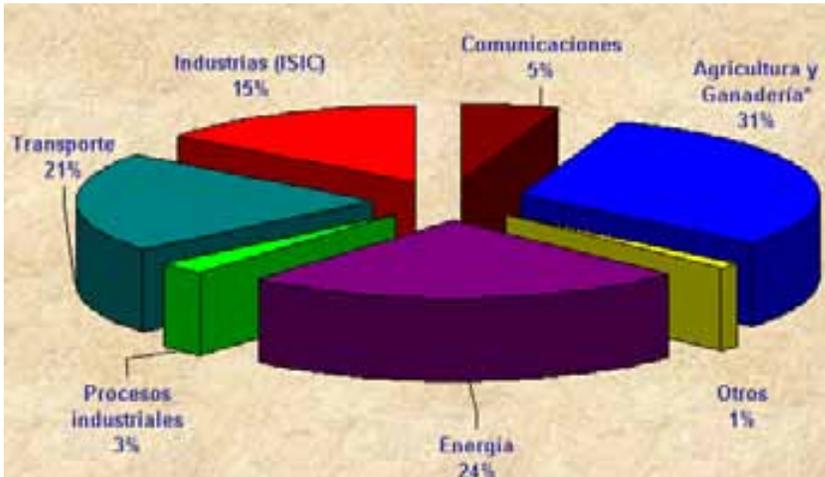


Fig. 95. Porcentaje de energías fósiles destinado a cada sector económico

Tenemos que ampliar nuestros horizontes y ser conscientes de nuestra actuación como arquitectos cuando diseñamos, remodelamos o construimos edificios. El abanico de intereses va desde la capacidad del usuario de abrir una ventana hasta la planeación urbanística del entorno. También hemos de considerar toda la escala de

tiempo; en otras palabras: el ciclo de vida de lo que construimos y cómo lo usamos. No sólo debemos fijarnos en la energía consumida durante la construcción de un edificio, sino también de la energía que costará el derribo o desmantelamiento y reciclaje de los materiales o su eliminación final de su existencia.

Si el razonamiento que se postula propone que para explicar la difusión y adopción de innovaciones ambientalmente compatibles es necesario observar aquellas características vinculadas al nuevo paradigma de orientación productiva preocupado por el ambiente, es porque supone que la acción social no sólo se orienta por principios instrumentales, sino también por otras racionalidades igualmente presentes en el quehacer social.

Desde esa perspectiva, entonces, lo que se toma como marco referencial para analizar la existencia y difusión de una probable cultura productiva proambiental es la coexistencia entre un paradigma dominante instrumental y otro emergente que no lo desconoce. En ese sentido, la propuesta de cierta ecologización de la economía y una economización de la ecología para que la difusión de innovaciones ambientalmente compatibles sea viable, parece ser la más realista en términos de la forma que adopta, se presenta y evoluciona el modo de producción capitalista.<sup>94</sup>

<sup>94</sup> Discusión que se sigue en los planteos de Martínez Allier (op. cit.) y Huber (op. cit.), entre otros.



## 6.17. MODELO DE CÁLCULO DE UNIDAD COLECTORA

Es importante recalcar, que un factor secundario de elección de sistema, son aquellos modelos matemáticos o computacionales que para cada equipo tecnológico se han desarrollado, ya que los resultados arrojados facilitan una predicción muy aproximada del funcionamiento del equipo. Desafortunadamente, no se tiene acceso a todos estos modelos puesto que la mayoría de las empresas conservan como parte del capital intelectual estas formas predictivas de cálculo.

Modelos matemáticos (M.M): Shubert y Rayn publicaron en 1981 su obra titulada “Fundamentals of Solar Heating” (capítulo 6) donde puede hallarse una basta colección de ecuaciones para el cálculo de dispositivos de unidad colectora en cuatro variedades respecto a la ubicación de la placa absorbedora y el flujo de aire que se hace pasar. Por otro lado, Ibañez et.al. realizaron un artículo titulado “Modelación del comportamiento térmico de un colector solar plano para el calentamiento de aire” (Memorias de la XXXI semana la semana de energía solar, Zacatecas, Zac. México), donde Se presentan los resultados del comportamiento térmico de un calentador solar de aire tipo túnel, proporcionando los valores de temperatura horario que se pueden alcanzar durante un día en determinados puntos del colector para diferentes condiciones de diseño, con lo cual se obtuvo un modelo matemático que simula el comportamiento térmico del diseño de colector propuesto y permite su solución numérica y obtener la influencia de variaciones de parámetros de diseño en el funcionamiento del colector. Bohórquez Peñuela, quien pertenece al Departamento de Ingeniería mecánica de Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia; editó un artículo denominado “Muro Trombe” que además de hacer una breve referencia histórica del muro trombe y la forma en que funciona, ofrece los criterios de diseño y construcción del muro, la superficie vidriada, los orificios para realizar el cálculo de rendimiento.

Modelos computacionales (M.C): Desarrollado por Enermodal Engineering Ltd. y con el aval de Natural Resources Canada , el programa de cómputo “SWift99” (Solarwall International Feasibility Tool) facilita el cálculo del área colectora, aerocirculador, ductos, inversión y amortización. Más tarde, RETscreen International puso a la disposición del público interesado en el uso de energías renovables, un programa con interfaz Exel llamado SAH3 cuya finalidad es la misma que SWift99, pero que arroja resultados poco más precisos del área colectora, y sobre los gases efecto invernadero evitados por el uso del sistema Solarwall.

A continuación, se incluye una tabla comparativa de aquellos sistemas que tienen, ya sea un modelo matemático de referencia o un modelo computacional desarrollado en forma específica para este fin. Además, se hace una última clasificación de aquellos equipos tecnológicos que tienen datos técnicos muy específicos ofrecidos por la empresa (EMP) que los oferta, producto de la experiencia y de sus propios modelos (matemáticos o computaciones), pero que no son publicados.

	Trombe	TIM .	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	SR Tile	Sunmate
M.M	•			•						
M.C.				•						
EMP		•	•	•	•	•	•	•	•	•

Tabla 25. Comparativa modelos de cálculo de unidad colectora

## 7. ELECCIÓN DE UN SCSA

### 7.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo está dedicado a desarrollar la forma en que puede aplicarse la guía de criterios de selección (capítulo 6), mediante un análisis del caso de estudio “Vivienda unifamiliar en zona Desierto de los Leones”. Lo cual constituye el tema central de la presente investigación, es decir, la forma en que puede realizarse una adecuada selección de un SCSSA considerando las variables que conforman la Guía de Criterios de Selección de SCSSA.

En primer término, debe de realizarse un sencillo análisis de sitio que incluya la descripción del sitio y características del inmueble (ver 7.2), condiciones climáticas (ver 7.3) y datos bioclimáticos (ver 7.4); a fin de establecer las primeras 7 variables para realizar la selección de un SCSSA y que se remiten al análisis de datos climáticos y bioclimáticos:

1. Tipo de clima conforme a clasificación climática de Köppen modificada por García
2. Dimensiones del inmueble (volumen de aire)
3. Materiales constructivos del inmueble (tipo, espesor, color)
4. Temperatura horaria
5. Humedad relativa horaria
6. Rango de termopreferencia (mínima, media y máxima)
7. Sensación térmica

La segunda etapa, se refiere a realizar un cálculo térmico (ver 7.5) y de capacitancia (ver 7.6) del inmueble en cuestión, para obtener un patrón de la temperatura interior conforme a datos horarios de inicio para un día en particular (ver tabla 30), para de esta forma verificar conforme a la temperatura horaria interna obtenida por cálculo y al diagrama psicrométrico de Givoni, si es preciso recurrir a la calefacción solar por aire. En caso de requerirse calefacción solar por aire, se continúa con el tercer paso.

La etapa tres, se centra en realizar un análisis exhaustivo del papel que juegan las variables (ver 7.8) conforme a condiciones climáticas, tipo de usuario, tipo de construcción, etc. De esta forma se tienen las siguientes 19 variables que componen el filtro 1 de requerimientos primarios:

8. Confort térmico
9. Temperatura
10. Flujo y corrientes de aire
11. Humedad
12. Renovación de aire
13. Zona de suministro
14. Factores contraproducentes (lumínico, visual, acústico, de percepción ambiental)
15. Eficiencia del sistema (tasa de flujo de aire, deflectores)
16. Calor por convección (superficie selectiva)
17. Calor por radiación (zonas y superficies acristaladas)
18. Calor por conducción (conductividad y aislamiento térmico de los materiales)
19. Calor por infiltración y ventilación (puntos de suministro y desalojo de aire)
20. Calor por ganancias internas (número y tipo de usuarios, número y tipo de equipos)
21. Circulación del aire (natural o forzada)
22. Almacenamiento (disponibilidad de espacio y cercanía a la zona de suministro)



23. Control (tipo de usuario, factibilidad económica, percepción ambiental)
24. Valor estético
25. Accesibilidad (Mantenimiento, limpieza e inspección)
26. Economía (inversión, costos de operación y mantenimiento, y amortización)

Para cumplir este objetivo, es necesario realizar un análisis comparativo que esté basado en las recomendaciones de la Guía de Criterios de Selección, para así concluir por cada variable, qué tecnología o tecnologías quedan excluidas y cuáles tienen beneficios para el caso en particular. Además de equipos tecnológicos, los criterios establecidos en la guía del capítulo 6 facilita el uso para estrategias que el mismo diseñador considere y que impliquen una intervención a la envolvente. Aunque es un procedimiento que consume tiempo, resulta el único camino apropiado para lograr una adecuada selección, ya que no es posible generar una línea única y general de criterios para casos de rehabilitación, puesto que la condición de edificio rehabilitado provoca un sin fin de condiciones particulares.

El cuarto paso, radica en realizar la selección de una tecnología mediante el filtro 2 de requerimientos secundarios (en esta caso utilizando las tecnologías del catálogo del capítulo 5 o estrategias para envolvente), generando en primer lugar, una tabla comparativa de las variables (ver tabla 33) que para el caso en cuestión se adaptan bien al caso de estudio.

Para este efecto, se emplearan solamente las variables del tercer paso, puesto que las variables generadas en la etapa uno, no cambian por el hecho de emplear una u otra solución tecnológica de SCSA. Una vez descartadas tecnologías no aptas para aplicar, se obtiene por descarte la tecnología más adecuada para el inmueble objeto de análisis. Las variables del filtro de requerimientos secundarios incluyen:

- Inversión
- Amortización
- Mantenimiento
- Limpieza
- Inspección
- Valor expresivo
- Modelos de cálculo

La quinta etapa, atiende los datos que arroja el cálculo de un SCSA, una vez que se ha determinado la forma en que los datos de variables serán procesados, es decir, puede darse el caso que se cuente con un programa de cómputo especializado (como sucede con la tecnología Solarwall) que evite realizar cálculos de dimensionamiento, eficiencia, etc., de forma independiente un subsistema de otro. Los datos arrojados deben incluir cuando menos:

- Flujo de aire
- Temperatura de aire de suministro
- Absortancia de superficie captadora
- Área de unidad colectora
- Modo de circulación de aire
- Potencia del ventilador (en caso de circulación forzada)
- Eficiencia del colector
- Tipo de material de almacenamiento
- Volumen necesario de almacenamiento

- Costo aproximado
- Tiempo de amortización

La sexta y última etapa, está dedicada al diseño del SCSA a manera de intervención arquitectónica, que con base en la tarea del arquitecto; la propuesta debe considerar la factibilidad económica, armonía con el contexto, mimetización o presencia del SCSA según las cualidades estéticas del edificio, deseos del usuario, necesidades funcionales; variables que no son tratados como parte de la investigación, en el entendido que el usuario de este documento debe de ser una persona calificada en el campo del diseño arquitectónico.

Así mismo, para efectos de diseño se consideran necesariamente los datos dimensionales y funcionales de la unidad colectora, subsistema de almacenamiento y distribución obtenidos en la quinta etapa. Para generar una propuesta adecuada, deben generarse cuando menos una planta arquitectónica dónde se ubique de forma general la unidad colectora, el subsistema de almacenamiento y líneas y equipos de distribución (en caso de ser necesarios).

De forma específica, debe expresarse en corte, el funcionamiento integral del sistema, si la localización de un elemento de SCSA respecto a otro es complicada, deberá entonces de generarse un isométrico o perspectiva (lo que resulte más adecuado). Lo óptimo, es incluir detalles constructivos que permitan comprender la forma en que el sistema se acoplará al inmueble, así como detalles estéticos y de acabados; el número y necesidad de especificación estarán a juicio del diseñador que se supone calificado.

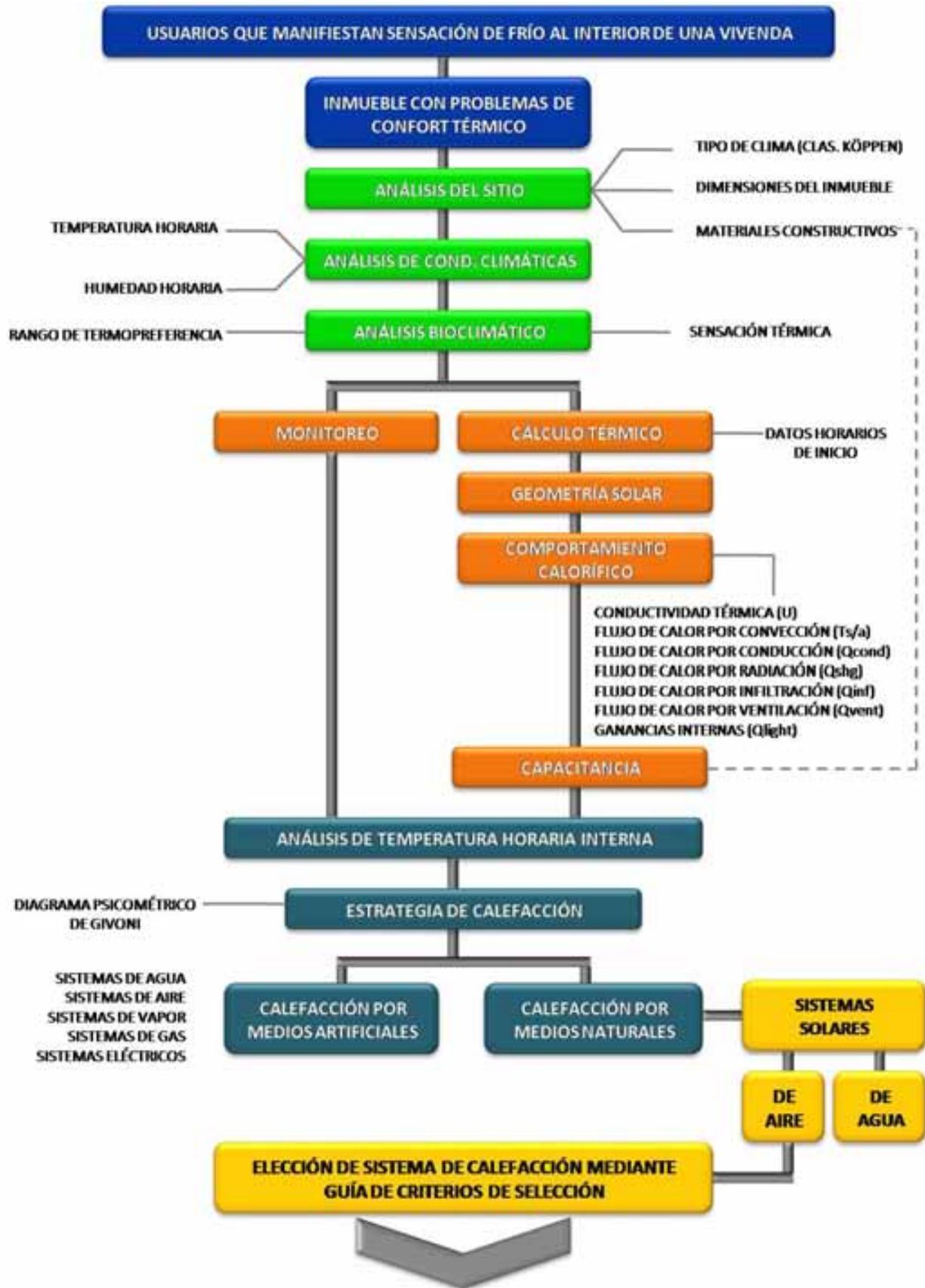
Con el objetivo de facilitar el uso de la metodología previamente descrita en seis etapas o pasos, se han desarrollado 3 diagramas de flujo cuya función principal es la de referencia ya que cada punto es tratado a profundidad a lo largo del documento.

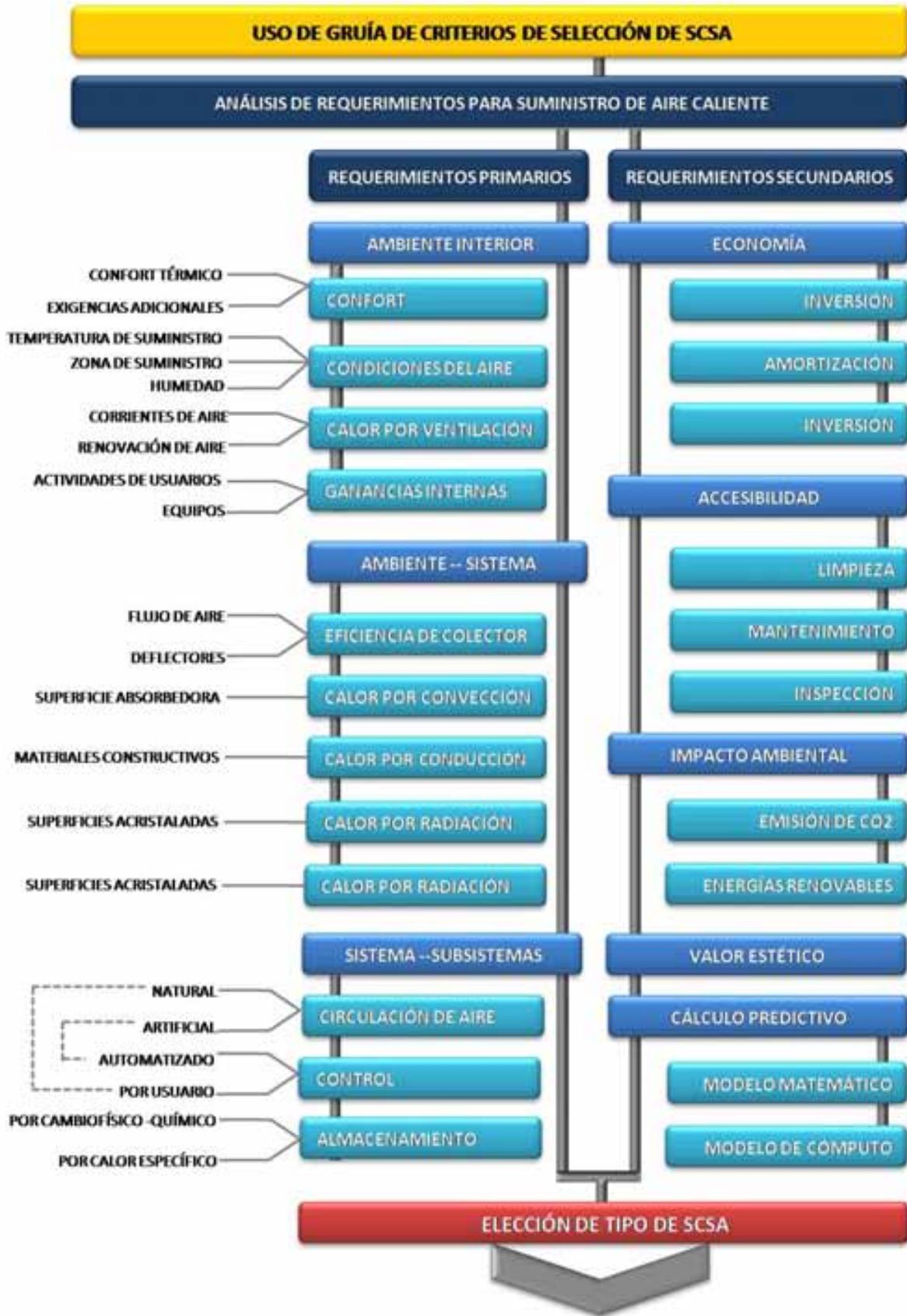
Diagrama de flujo 1: Abarca la situación desde que un usuario manifiesta inconfort térmico por frío hasta una vez que se esclarece que la estrategia adecuada a emplear es la calefacción solar, se procede al empleo de la Guía de Criterios de Selección. Esta fase está regida por el análisis de datos climáticos y bioclimáticos.

Diagrama de flujo 2: Establece la forma de análisis en dos vertientes, análisis de requerimientos primarios y análisis de requerimientos secundarios. Para el primer caso, el análisis está efectuado desde un punto de vista de interacción entre el ambiente interior y la unidad colectora (ambiente-sistema), la relación de la unidad colectora con los subsistemas de almacenamiento y distribución respecto al punto de suministro (sistema-subsistemas); cuya interacción está basada en las condiciones interiores (ambiente). Con los resultados obtenidos y procesados se procede a la elección de un SCSA sea como dispositivo o envolvente.

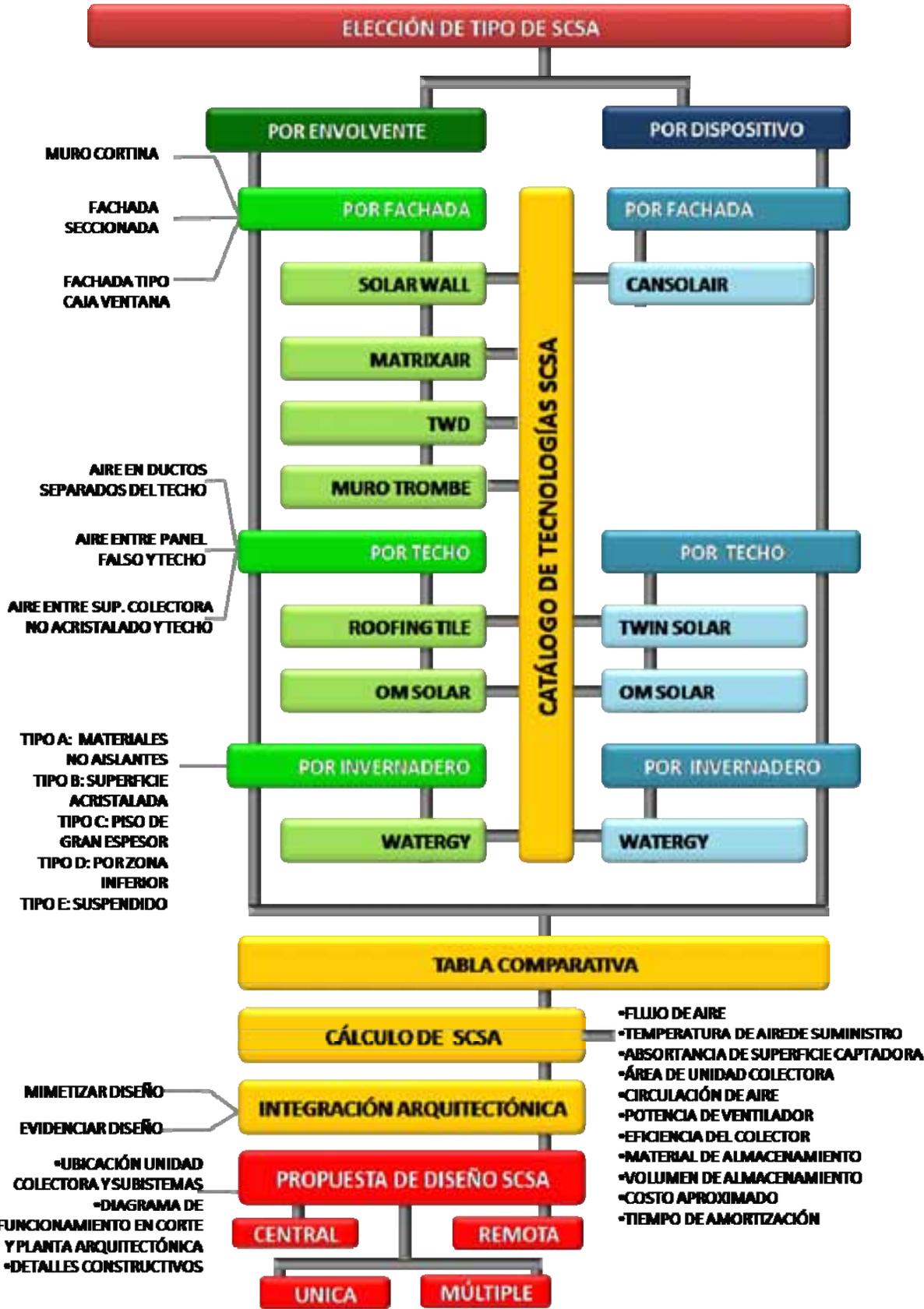
Diagrama de flujo 3: Esta tercera fase involucra tablas comparativas para discernir entre el dispositivo(s) o envolvente(s) más adecuado(s); pues cabe mencionar que un diseño de SCSA puede tener soluciones mixtas. Una vez efectuada la decisión, es posible realizar el cálculo y de este modo dimensionar y diseñar el SCSA.







*Calentación solar por aire*



## 7.2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en los límites del Parque Nacional Desierto de los Leones en la Delegación Cuajimalpa del Distrito federal. Se localiza a su vez en la región central de la República Mexicana, al suroeste de la Cuenca de México, pertenece a la unidad geomorfológica Sierra de Las Cruces que a su vez forma parte del sistema montañoso denominado Eje Neovolcánico Transversal (Cantoral, 1986). Sus coordenadas geográficas corresponden a una latitud de 19°18' N, una longitud de 99°18' W y una altitud de 2220 msnm.



F.96. Localización geográfica mediante fotografía aérea. Google Earth.

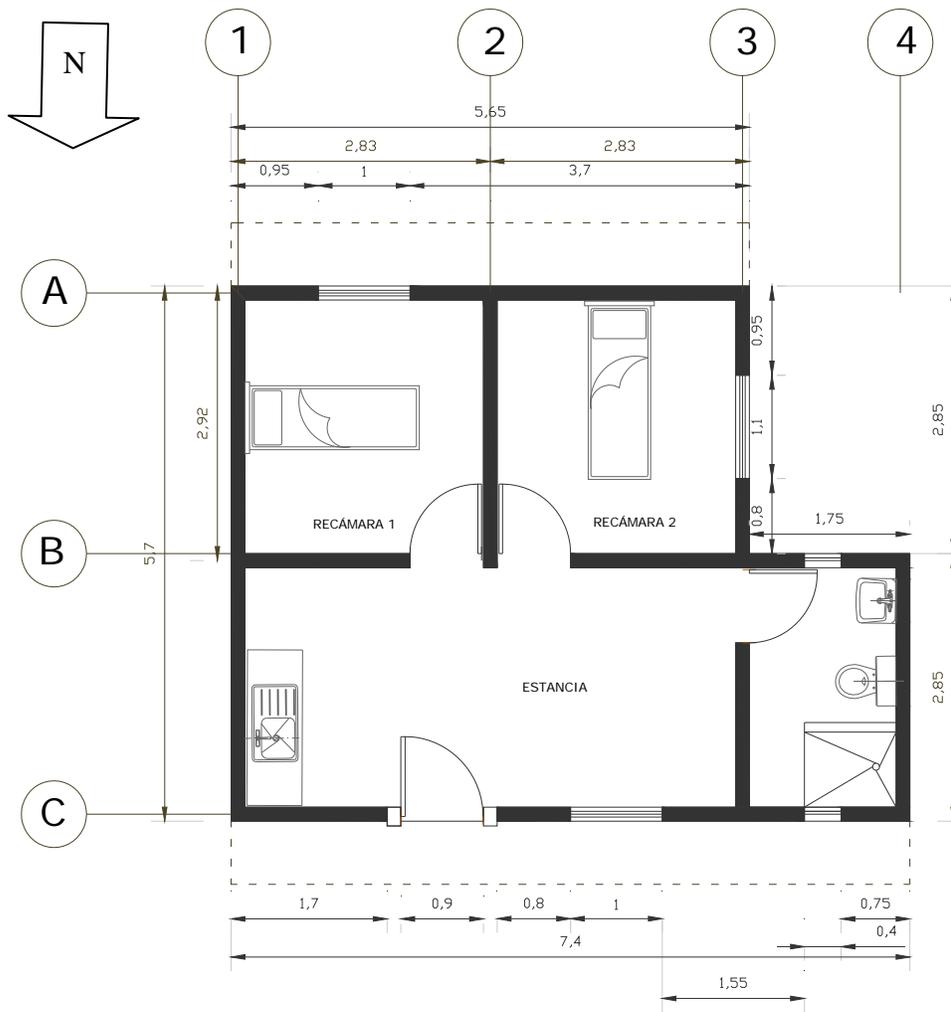
El suelo es de tipo volcánico de textura arcillosa-arenosa, profundo, bien drenado y fértil. La mayor parte está cubierta por vertientes abruptas e incluye numerosos manantiales y arroyos. Incluye principalmente bosque de oyamel, pino, encinos, coníferas y pastizales. Es una zona que por sus condiciones de vegetación y altitud principalmente, presenta un clima semifrío húmedo de acuerdo a la clasificación Köppen CW2 W b', modificada por García (1988), equivale a: Templado, con lluvias en verano; precipitación invernal, con respecto al total es menor de 5%; forma parte del grupo más húmedo de los subhúmedos e isothermal (la diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío es menor a 5°C).



F.97. Imágenes del contexto natural de la zona denominada Desierto de los Leones, Delegación Cuajimalpa, Distrito Federal.

Se trata de una casa habitación de 36 m<sup>2</sup> de construcción en una planta con altura promedio de 2.30 mts; cuya configuración interna es dos recámaras con orientación sur y área de estar, cocina y baño con orientación norte.





F.98. Planta arquitectónica



F.99. Fachada norte de la vivienda

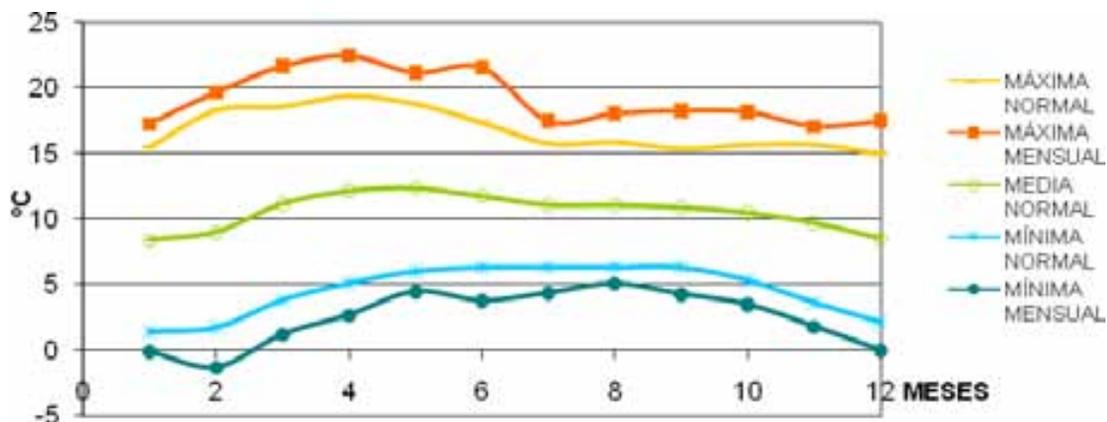
Los materiales constructivos que componen al inmueble son: muros (exteriores e interiores) de block hueco sin aplanado en ambas caras y aplicación de pintura vinílica blanca; para techo, losa de concreto armado, con su respectivo relleno de tezontle, enladrillado, entortado e impermeabilizante (pendiente de 2%). El piso consta de un firme de concreto si ningún acabado, y las ventanas son sencillas, con cristal de 6 mm de espesor y cancelería de metal pintada en negro.

### 7.3. ANÁLISIS DE DATOS CLIMÁTICOS

Para este análisis, ha sido necesario desglosar las normales climatológicas y graficadas para permitir una más fácil interpretación de los datos, que fueron obtenidos de la estación meteorológica Ex - convento Desierto de los Leones (EDL) del periodo 1971-2000 (ver anexo a). Aquellas normales climatológicas de mayor relevancia para el caso de estudio (temperatura y humedad) se incluyen a continuación.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
<b>MÁX.NORMAL</b>	15.5	18.3	18.6	19.4	18.8	17.4	15.8	15.9	15.4	15.7	15.7	15
<b>MÁXI. MENSUAL</b>	17.3	19.7	21.7	22.5	21.2	21.6	17.5	18.1	18.3	18.2	17.1	17.5
<b>MÁX. DIARIA</b>	22	23	28	26	26	26	25	24	21	24.5	22	21
<b>MEDIA</b>	8.4	9.0	11.2	12.2	12.4	11.8	11.1	11.1	10.9	10.5	9.7	8.5
<b>MÍNI.NORMAL</b>	1.4	1.7	3.8	5.1	6	6.3	6.3	6.3	6.3	5.3	3.6	2.1
<b>MÍN. MENSUAL</b>	-0.1	-1.3	1.2	2.7	4.5	3.8	4.4	5.1	4.3	3.5	1.8	0
<b>MÍNI. DIARIA</b>	-6	-5.5	-5	-2	1	1	1	2	0	0	-4	-4

Tabla 26. Temperatura tabulada de normales climatológicas de la estación EDL, dado en °C.

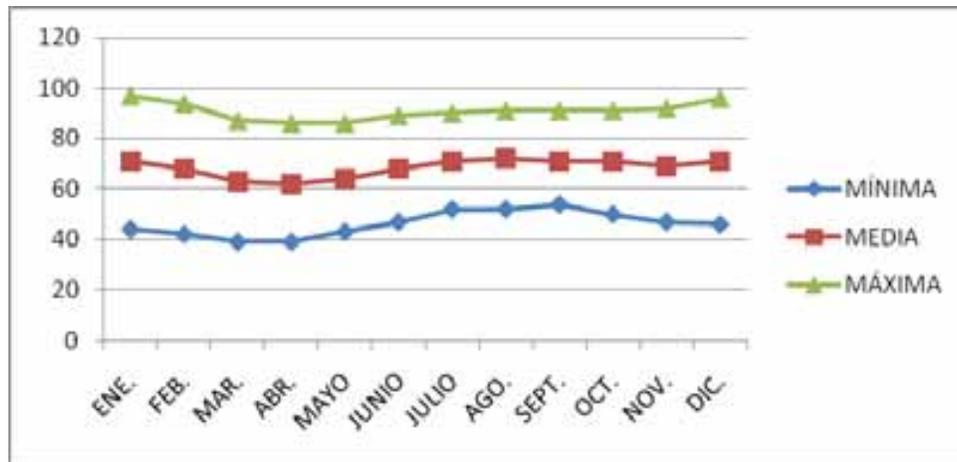


F.100. Gráfica de temperatura de normales climatológicas de la estación ExConvento Desierto de los Leones.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
<b>MÍNIMA</b>	44	42	39	39	43	47	52	52	54	50	47	46
<b>MEDIA</b>	71.0	68.0	63.0	62.0	64.0	68.0	71.0	72.0	71.0	71.0	69.0	71.0
<b>MÁXIMA</b>	97	94	87	86	86	89	90	91	91	91	92	96

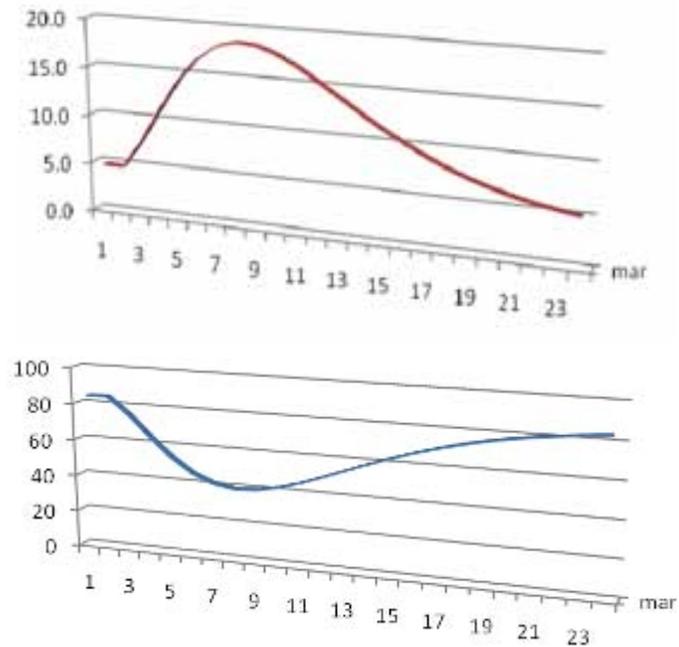
Tabla 27. Humedad relativa tabulada de normales climatológicas de la estación EDL, dado en %.





F.101. Gráfica de humedad relativa de normales climatológicas de la estación ExConvento Desierto de los Leones.

A partir de las normales climatológicas (temperatura y humedad), se utilizó un programa para obtener la temperatura y humedad horarias de todo el año (datos que también fueron graficados) para dar paso al cálculo térmico. La relación entre ambas gráficas está definida por una oposición de punto máximos y mínimos, es decir, el patrón que rige a la temperatura es de puntos máximos de entre 15 y 19.4 °C entre las 10:00 y 14:00 hrs, estrechándose el patrón en la época invernal; por el contrario la humedad disminuye alrededor de un 40%, cuando desciende de una humedad relativa de casi 90% a las 6:00 hrs, hasta 38 a 50% de humedad relativa según la época del año (ver anexo a).



F.102. Gráfica de temperatura horaria (arriba) y gráfica de humedad relativa horaria (abajo), para el mes de marzo

#### 7.4. ANÁLISIS DE DATOS BIOCLIMÁTICOS

Es necesario establecer un día de cálculo, y a partir de un primer registro de temperatura interna tomado en sitio. Se ha seleccionado el día 10 de marzo, ya que conforme a los resultados de confort térmico de los usuarios que a continuación son analizados, no se alcanza el rango de confort higrotérmico a pesar de que ha concluido la temporada invernal. Se ha seleccionado la temperatura interna máxima (12.28°C a las 14:00 hrs) ya que es la temperatura que demuestra que ni siquiera a la hora de mayor incidencia solar puede alcanzarse el deseado confort térmico, cabe mencionar que para efectos de cálculo se ha tomado como hora inicial de

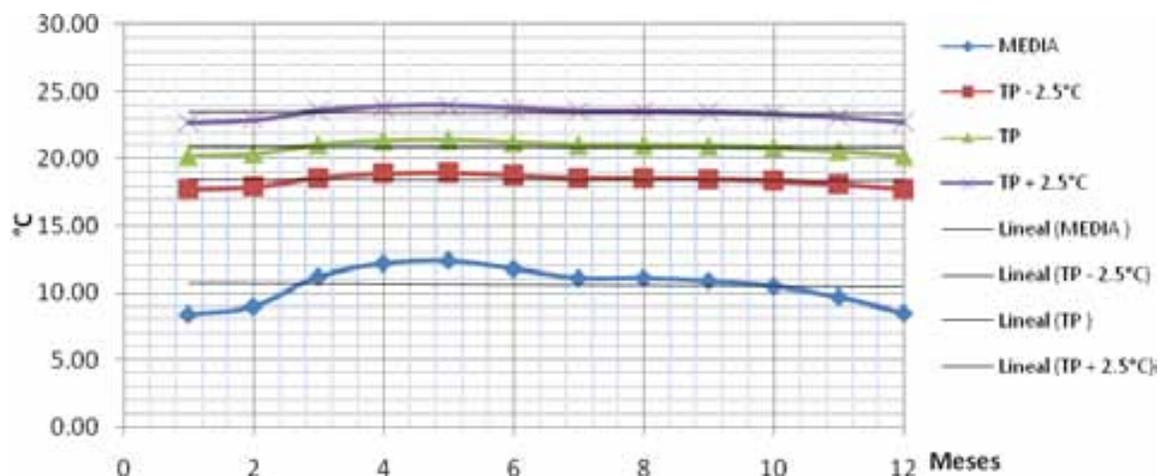
cálculo las 8:00 hrs del día en cuestión por tener similitud con la temperatura ambiente exterior. Estos datos fueron obtenidos por mediciones en sitio, cuyo crédito de obtención y procesamiento de datos se le atribuye al Dr. José Diego Morales, con la ayuda de un equipo de medición denominado .

Utilizando la temperatura media por mes (ver anexo a) y con la ecuación de Auliciens (1990):  $T_n = 17.6 + 0.31 (T_o)$ , donde  $T_n$  es la temperatura de confort y  $T_o$  es la temperatura media mensual; se logro un rango de confort para la zona de estudio, que tabulada se presenta a continuación; donde es necesario aclarar que el termopreferendum es un rango que da cabida a 2.5°C por debajo o por encima de la cifra obtenida, de forma que TP tiene un rango de 5°C.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>MEDIA</b>	8.40	9.00	11.20	12.20	12.40	11.80	11.10	11.10	10.90	10.50	9.70	8.50
<b>TP - 2.5°C</b>	17.70	17.89	18.57	18.88	18.94	18.76	18.54	18.54	18.48	18.36	18.11	17.74
<b>TP</b>	20.20	20.39	21.07	21.38	21.44	21.26	21.04	21.04	20.98	20.86	20.61	20.24
<b>TP + 2.5°C</b>	22.70	22.89	23.57	23.88	23.94	23.76	23.54	23.54	23.48	23.36	23.11	22.74

Tabla 28. Termopreferendum respecto a temperatura media mensual

La temperatura interna obtenida no se encuentra de ninguna forma dentro de los rangos que el termopreferendum indica, es decir, la temperatura interior no alcanza los 18.57 °C que para el mes de marzo en ese lugar se tiene establecido en el termopreferendum mínimo, siendo la temperatura interna más alta 12.38 °C a las 14:00 hrs (medición tomada en sitio), sin embargo, cabe destacar que al menos si supera la temperatura media mensual de 11.20 °C.



F.103. Gráfica de termopreferendum

Con el rango de confort obtenido anteriormente y combinado con las temperaturas horarias, se crea un diagrama de isorrequerimientos que permite visualizar de forma tabulada, las horas en que por mes existe confort térmico; con esto, se cuantifican las horas totales de frío, calor y confort conforme al método publicado en “Modelo para diseño y evaluación del control solar”<sup>95</sup>. Para realizarlo, cada hora se le atribuye el valor de frío si no alcanza el valor de TP-

<sup>95</sup> MORILLÓN, et.al. Modelo para diseño y evaluación del control solar”. Instituto de Ingeniería UNAM



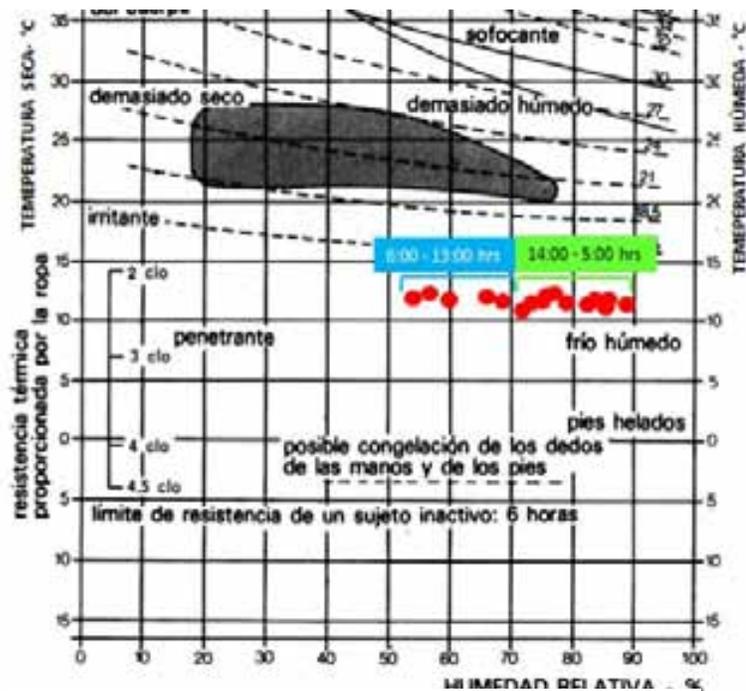
Calentamiento solar por aire

2.5°C, confort para aquellos datos de temperatura que se encuentren entre TP-2.5 °C y de calor para datos por encima de TP +2.5°C (ver anexo A, para diagrama de isorrequerimientos completo).

En base al diagrama de isorrequerimientos y el rango de confort, la temperatura y humedad media mensual, son vaciados en el diagrama bioclimático de Olgay<sup>96</sup> y en el diagrama psicrométrico de Givoni<sup>97</sup>. Diagramas que facilitan reconocer las sensaciones corporales más comunes del cuerpo humano cuando no se está en el rango de confort, así como las estrategias de climatización más adecuadas para proporcionar confort higrotérmico.

Hora (TSV)	SEMESTRE 1					
	ene	feb	mar	abr	may	jun
06:00	2.4	2.7	4.7	5.1	6.2	6.5
07:00	1.6	2.1	4.7	6.6	7.9	8.2
08:00	3.5	4.5	7.4	9.6	10.7	10.7
09:00	6.7	7.9	10.9	12.9	13.7	13.2
10:00	9.9	11.2	14.1	15.8	16.1	15.3
11:00	12.6	13.8	16.5	17.9	17.8	16.6
12:00	14.4	15.4	18.0	19.0	18.8	17.3
13:00	15.3	16.2	18.5	18.4	18.7	17.3
14:00	15.4	16.2	18.4	19.0	18.3	16.9
15:00	14.9	15.6	17.6	18.2	17.5	16.2
16:00	14.6	14.8	16.5	17.1	16.4	15.2
17:00	12.9	13.3	15.2	15.8	15.3	14.2
18:00	11.6	12.0	13.9	14.5	14.1	13.2
19:00	10.3	10.6	12.5	13.2	13.0	12.2
20:00	9.0	9.4	11.2	12.0	11.9	11.3

Tabla 29. Termopreferendum del semestre 1



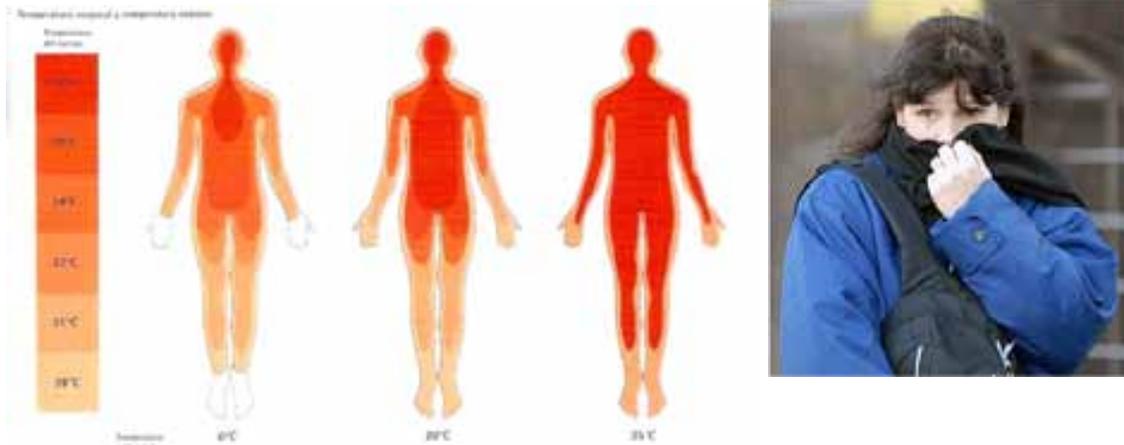
F.104. Diagrama psicrométrico de Olgay, donde se localizan las temperaturas horarias para el día 10 de marzo

Si ubicamos la temperatura interna horaria, y la relacionamos con la humedad horaria en el diagrama bioclimático de Olgay, encontramos que las condiciones térmicas para usuarios están muy por debajo de la zona de confort marcada como una mancha oscura en el esquema siguiente. Los puntos en rojo, indican para cada hora la intersección con el eje horizontal de temperatura interna y el vertical para humedad horaria; esto nos permite aclarar que las condiciones serán frío húmedo y se necesita utilizar ropa que proporcione un aislamiento térmico entre 2 y 2.5 clo (ver apéndice D.4). En la figura 105 se observa que cercano a los 0°C, el calor se resguarda al centro del cuerpo para proteger los órganos vitales y por efecto de

<sup>96</sup> IZARD. Arquitectura Bioclimática. GG. Barcelona, 1980.

<sup>97</sup> GIVONI B., Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold, 1994.

vasoconstricción, las extremidades del cuerpo cuentan con menor temperatura corporal, tendencia que se produce en el interior de la vivienda. Para evitar este efecto, el usuario debe utilizar prendas de vestir con 2 a 2.5 clo de aislamiento que como ejemplo se muestran en la imagen de la derecha.



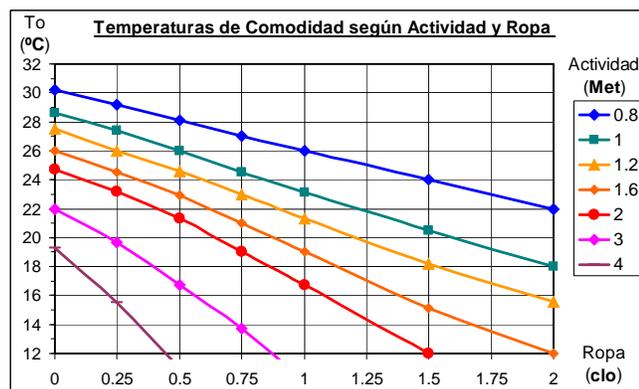
F.105. Relación entre temperatura corporal y temperatura exterior.

Por otro lado, el diagrama permite visualizar que la temperatura a pesar de poder incrementarse por las ganancias de calor, se mantiene constante por la humedad que se presenta, por lo que a pesar que en el periodo de la mañana existe entre 50 y 70% de humedad no se alcanza a incrementar la temperatura como sucede a partir de las 14:00 hrs cuando la humedad disminuye. Esta relación entre humedad, temperatura y confort térmico, ha sido condensada en el índice de Missenard, cuyo autor lleva el mismo nombre y fue creada en 1937 para establecer una escala que permita determinar las respuestas del individuo ante condiciones climáticas de humedad y temperatura. El índice de Missenard  $TR = sensación\ térmica$ , está definido por  $T_s - 0.4(T_s - 10)(1 - HR)$ , donde  $T_s$  es la temperatura del bulbo seco expresado en °C y HR es la humedad relativa expresado en decimales. Utilizando la temperatura máxima interna alcanzada al interior de la vivienda ( $T_s$ ) y una humedad relativa de 40% ( $HR = 0.4$ ), se obtiene un TR de 11.80, cuyo valor no son °C sino una unidad en la escala correspondiente al índice de Missenard, que se traduce como sensación térmica de “Muy frío”.

TR	SENSACIÓN TÉRMICA
2-12	Muy frío
13-16	Frío
15-19	Fresco confortable
19-24	Neutro cómodo
24-26	Tibio
27-30	Caluroso
30-32	Bochorno

Tabla 29. Índice de Missenard

El inmueble es usualmente ocupado por tres personas, dos de las cuales utilizan la casa para dormir en un horario de 20:00 a 8:00 hrs, y la tercera persona además de tener un horario igual al interior, realiza actividad ligera durante el día en un horario de 9:00 a 18:00 hrs, lo que se traduce .8 y 2 met (ver apéndice D.3.) respectivamente.



F.106. Gráfica de temperaturas de comodidad según actividad y ropa



Calificación solar por aire

Estos valores referenciados a la gráfica siguiente, permiten advertir que únicamente se alcanza una temperatura de comodidad de 22°C, utilizando un aislamiento de 2 clo y realizando una actividad de 0.8 met, lo cual resulta incómodo para el usuario estar vestido al interior de su vivienda con tanta ropa. Lo ideal es vestir con aislamiento de 1 clo, pero para ello deberíamos realizar una actividad constante de casi 3 met, lo que implica un trabajo de albañilería constante considerando que no se haga ninguna modificación en el inmueble.

## 7.5. CÁLCULO TÉRMICO

El cálculo térmico está basado principalmente en los datos de temperatura y humedad horaria que se obtienen a partir de las normales climatológicas, y en la temperatura interna. La metodología de cálculo, se basa en las ecuaciones del programa de cómputo denominado TRANSYS<sup>98</sup> desarrollado en la Universidad de Wisconsin y la adecuación realizada en el año 2000 por Morales et.al.<sup>99</sup> que se ocupa a continuación, fue obtenida de las Notas del Curso de Actualización Solar, capítulo “Carga térmica en un edificio con almacenamiento térmico”. La primera temperatura interna a la que se hace referencia es la de 8:00 hrs para el día en cuestión (10 de marzo del año 2007) cuyos motivos de selección de ese día se han mencionado anteriormente (capítulo 7.3). Con este dato, es posible generar los datos horarios de inicio para el cálculo térmico que a continuación se desglosan.

t	Temperatura ambiente	285.57	°K
HT	Radiación solar global	328.89	W/m2
%	Humedad relativa	75	%
Tint	Temperatura interior	285.53	°K
v	Viento	6	m/seg
p	Densidad del aire	0.9115	kg/m3
Cpa	Calor esp. Del aire	1.0065	KJ/kg°K
Wamb	Humedad esp amb	0.0044	gr/m3
Wint	Humedad esp int	0.0066	gr/m3
Hvap	Calor lat vaporiz	2468	KJ/kg°K
CV	Efect. Abertura vent	0.25	

Tabla 30. Datos horarios de inicio para el cálculo térmico del día 10 de marzo a las 8:00 hrs.

La descomposición del comportamiento calorífico en diferentes partes permite el análisis de la edificación, elemento por elemento, y el conocimiento de la importancia relativa de dichas partes en relación con la totalidad. Permite asimismo, valorar situaciones superpuestas u opuestas para indicar las medidas que deberán tenerse en cuenta en cada ocasión específica. Como punto adicional, el cálculo térmico permite identificar cualquier energía acumulada durante periodos fríos que ayude a reducir el consumo energético de calefacción. En lo referente a cálculo térmico, a continuación será tratado a forma de resumen, sin embargo, el cálculo completo puede ser consultado al final del documento como Anexo A. por otro lado, la interpretación de los datos, está soportada por lo descrito en los capítulos 6.6 y 6.7.

<sup>98</sup> Programa de simulación “TRANSYS” (Transient simulation program). Realizado en 1979 por el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad de Wisconsin, Madison. USA

<sup>99</sup> Morales, José Diego; Sámano, Diego Alfonso; Vázquez, Bernardo.

**CONDUCTIVIDAD TÉRMICA(U):** En primer lugar, el coeficiente de conductividad térmica está basado en el comportamiento térmico de los materiales de construcción en cuanto a la transmisión de calor exterior-interior, y el valor U que se obtuvo para muros, ventana y techo fue el siguiente:

$$U_{\text{muros}} = 3,28 \text{ W/hm}^2\text{°C}$$

$$U_{\text{ventana}} = 6.93 \text{ W/hm}^2\text{°C}$$

$$U_{\text{techo}} = 2.55 \text{ W/hm}^2\text{°C}$$

**FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN (Ts/a):** Se había mencionado que el impacto calorífico por convección se encuentra en función del intercambio con la temperatura del aire circundante, y puede acelerarse a través del movimiento del aire. Es por eso que para obtener Ts/a, se emplean valores de temperatura ambiente, radiación global directa y valores de emitancia y absorptancia de los materiales principalmente. A partir de ello, se generan datos horarios para el día de cálculo, como a continuación se incluye en la tabla 30.

HORA	Tamb	Rad. global	Ts/a muro	Ts/a techo	Ts/a vent
6	10.21	-	-	-	-
7	10.57	146.11	285.37	285.63	284.08
8	12.42	328.89	289.09	289.46	286.30
9	15.28	502.03	293.23	293.42	289.36
10	16.29	642.40	294.35	294.39	290.37
11	15.87	733.47	293.17	293.11	289.79
12	15.31	765.00	292.05	291.95	289.11
13	13.72	733.47	290.75	290.99	287.64
14	11.99	642.40	289.51	290.16	286.08
15	11.33	502.03	288.79	289.53	285.43
16	11.31	328.89	287.84	288.37	285.19
17	10.66	146.11	285.48	285.72	284.17
18	9.37	-	-	-	-

Tabla 31. Datos horarios de temperatura sol/aire

**FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN (Qcond):**

Con la terna de datos de valor U, puede obtenerse el flujo de calor por conducción, sin embargo, éste aspecto si se encuentra definido por la radiación solar que cada elemento (muro, ventana o techo) recibe conforme a su orientación. Estos valores se obtienen, a partir del valor U (coeficiente de conductividad térmica), de la temperatura sol-aire y del área de cada elemento.

En este caso, solo existe una ventana a considerar donde se recibe radiación solar (ventana sur), en cambio los muros si presentan diversidad en cuanto a flujo de calor por conducción como se presenta a continuación:

- Muro sur (U\*A) = 63.6879**
- Muro norte (U\*A) = 63.6879**
- Muro este (U\*A) = 49.0569**
- Muro oeste (U\*A) = 49.0569**
- Ventana sur (U\*A) = 6.9322**
- Techo (U\*A) = 93.5828**

**FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN DIRECTA (Q<sub>shg</sub>):** Ya que la radiación solar atraviesa las superficies traslucidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores de los locales, incrementando su temperatura, se produce un intercambio de calor con el ambiente interior y se eleva la temperatura del aire interior (ver tabla 32).

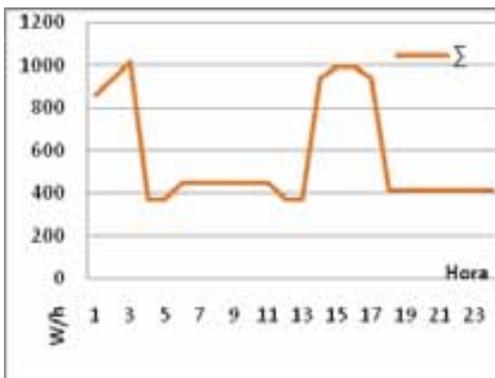


**FLUJO DE CALOR POR INFILTRACIÓN ( $Q_{inf}$ ):** El ingreso de aire proveniente del ambiente exterior, repercute en la carga térmica calcular, debiéndose hallar el valor  $Q_{inf}$  en su aspecto de calor sensible, a partir del número de renovaciones de aire, volumen de aire del local y de la diferencia entre la temperatura exterior e interior; y para calor latente a partir del número de renovaciones de aire, volumen de aire del local y de la diferencia entre la humedad específica exterior e interior (ver tabla 32).

**FLUJO DE CALOR POR VENTILACIÓN( $Q_{vent}$ ):** Debido a que el movimiento de aire que rodea una edificación crea zonas de baja presión en los lados adyacentes a la fachada de mayor exposición; los modelos de movimiento del aire alrededor del edificio vienen determinados por la geometría de la edificación y son independientes de la velocidad del viento. Es por eso que para encontrar el valor  $Q_{vent}$ , al flujo de aire, al área de aberturas de aire y a la velocidad del aire, para obtener un valor que se emplea tanto en la ventilación sensible y latente. En el primer caso, además del dato común se utiliza la diferencia de temperatura entre ambiente exterior e interior; y para el segundo caso, la diferencia la humedad específica exterior e interior.

HORA	Qshg	Qinf <sub>s</sub>	Qinf <sub>L</sub>	Qvent <sub>s</sub>	Qvent <sub>L</sub>
6	0	-52.45	213.31	-1837.79301	7474.137
7	79.0584	18.45	223.01	646.503115	7813.87
8	162.063	-204.83	213.31	-7176.89758	7474.137
9	209.543	-142.39	19.39	-4989.19506	679.467
10	208.655	-49.04	38.78	-1718.43542	1358.934
11	172.241	47.47	-58.18	1663.26534	-2038.4
12	146.57	102.16	-116.35	3579.39963	-4076.8
13	172.241	129.31	-135.74	4530.78512	-4756.27
14	208.654	128.76	-300.57	4511.59123	-10531.7
15	209.541	114.66	-252.09	4017.54894	-8833.07
16	162.063	88.29	-193.92	3093.62048	-6794.67
17	79.0584	49.73	-77.57	1742.59277	-2717.87
18	0	10.39	19.39	364.1035	679.467
19	0	-33.40	29.09	-1170.39859	1019.2
20	0	-50.83	77.57	-1781.04267	2717.868
21	0	-64.78	116.35	-2269.74693	4076.802
22	0	-79.10	155.14	-2771.49582	5435.736
23	0	-85.86	174.53	-3008.34553	6115.203
24	0	-88.68	174.53	-3107.13599	6115.203
1	0	-91.50	193.92	-3206.07007	6794.67
2	0	-90.63	193.92	-3175.60567	6794.67
3	0	-81.91	193.92	-2869.88018	6794.67
4	0	-73.34	184.22	-2569.64039	6454.936
5	0	-64.79	184.22	-2270.29757	6454.936

Tabla 32. Datos horarios del flujo de calor por radiación directa, infiltración y ventilación.



F.107. Gráfica de ganancias de calor interna.

**FLUJO DE CALOR POR GANANCIAS INTERNAS**

**( $Q_{met}/Q_{light}$ ):** Una vez que se consideran las actividades de los usuarios, su patrón horario y diario, su metabolismo, se obtiene el valor  $Q_{met}$  en su aspecto latente y sensible. Por otro lado, para obtener  $Q_{light}$ , debe de considerarse el número de luminarias y equipo eléctrico al interior del local para poder ser multiplicado por los Watts emitidos, específicos de cada aparato y foco. Una vez obtenidos  $Q_{met}$  y  $Q_{light}$ , se combinan para obtener un total de Watts por hora, y así obtener una gráfica horaria como la representada en la figura 107.

## 7.6. CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA

Para este fin, se requiere conocer los materiales constructivos de los que está compuesto el inmueble y sus propiedades físicas para conseguir la capacitancia total del inmueble que en este caso fue de 107,463. 34 KJ/°C. La capacitancia depende de la capacidad acumulativa calorífica del material, caracterizada por el valor volumétrico específico ( $\rho \times c$ , densidad por calor específico). A mayor capacidad acumulativa, menor variación de temperatura propagada a través del material. El retardo producido por esta transmisión se conoce como inercia térmica (ver apéndice A.5.); y proporciona la posibilidad de almacenar las cargas que se producen en los momentos punta de calor y liberarlas en momentos de baja temperatura. Los materiales de gran inercia térmica son generalmente densos y su efecto se asocia, por lo general, directamente con su peso. En diseño, la utilización apropiada tanto de aislamiento como de la inercia, son muy importantes para conseguir el equilibrio calorífico del interior. Este efecto reduce simultáneamente la amplitud de impacto y se denomina generalmente "capacidad aislante". Esto puede definirse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D = k/\rho c \text{ (m}^2/\text{h)}$$

Donde:

D = Difusividad térmica/Capacitancia

k = Conductividad térmica (Kcal/m<sup>2</sup>/h °C)

$\rho$  = Densidad (kg/cm<sup>3</sup>)

c = calor específico (kcal/kg °C)

	SITIO	AREA	VOL	P.VOL	Densidad	Conduc	Calor específico	Capacitancia
		m2	m3			W/m2	KJ/kg°C	KJ/°C
Block sólido	M sur	19.39	3.49	900	3141	1.07	0.81	2544.09
Block sólido	M este	14.93	2.69	900	2419	1.07	0.81	1959.64
Block sólido	M nor	19.39	3.49	900	3141	1.07	0.81	2544.09
Block sólido	M este	14.93	2.69	900	2419	1.07	0.81	1959.64
Ventana	M sur	1.00	0.01	2500	12.5	1.05	0.8	10.00
Ventana	Meste	1.10	0.01	2500	13.75	1.05	0.8	11.00
Relleno tezontle	Losa	36.57	0.73	1300	950.8	0.63	0.795	755.90
Enladrillado	Losa	36.57	0.73	2147	1570	1.07	0.84	1319.07
Entortado concreto	Losa	36.57	1.83	1800	3291	0.63	1.004	3304.47
Concreto armado	Losa	36.57	4.39	2400	10532	1.28	1.004	10574.29
Imperm. Fester terr	Losa	36.57	0.04	2325	85.03	0.6	1000	85025.25
Viga de pino	Losa	0.86	0.17	630	107.7	0.14	1360	146512.80
Firme de cemento	Piso	36.57	2.93	2400	7021	1.28	1.004	7049.53
Muros interiores	M int	36.57	6.58	900	5924	1.07	0.81	4798.72
Murete baño	M int	1.40	0.25	900	226.8	1.07	0.81	183.71
						Total capacitancia =		<b>107463.3433</b>

Tabla 33. Valores de calor específico, densidad y capacitancia por material constructivo

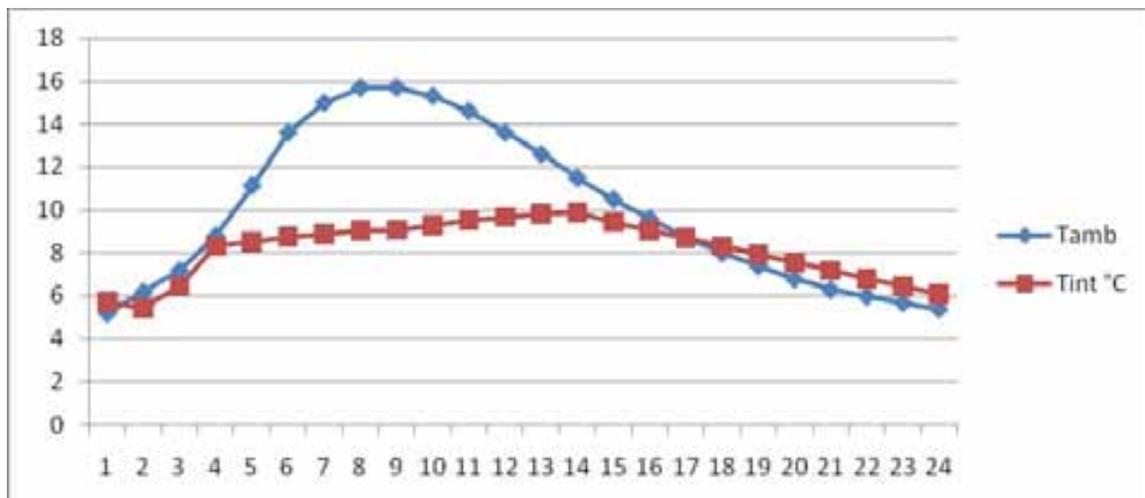


## 7.7. ANÁLISIS DE TEMPERATURA INTERNA HORARIA

Debido a que el objetivo principal es obtener la temperatura horaria interior del inmueble, esos datos generados en la tabla del cálculo final de la temperatura interna por hora, permite saber si el inmueble tiene las condiciones adecuadas para proporcionar el rango de confort térmico para usuarios. En caso de que los resultados sean negativos, el estudio proporciona al diseñador una herramienta para realizar cambios en el proyecto hasta obtener las condiciones térmicas ideales; de otra forma, el estudio respalda las condiciones térmicas que el proyecto pretende proporcionar.

$$t_{\text{cuarto}} = t_{\text{cuarto}} + Q_{\text{load}}/\text{Capacitancia}$$

La siguiente gráfica demuestra que el inmueble tiene bajas temperaturas internas (ver gráfica, figura 108), no sólo porque pertenece de por sí a un clima semi frío húmedo, sino porque al este y oeste tiene otros inmuebles colindantes que bloquean la radiación solar y porque la fachada principal tiene orientación noreste, muy desventajosa en este tipo de clima. Aunque el inmueble recibe radiación solar durante el periodo diurno, no logra calentar el aire interior, ya que la configuración de la vivienda es de doble crujía, cuando lo ideal es de crujía sencilla.

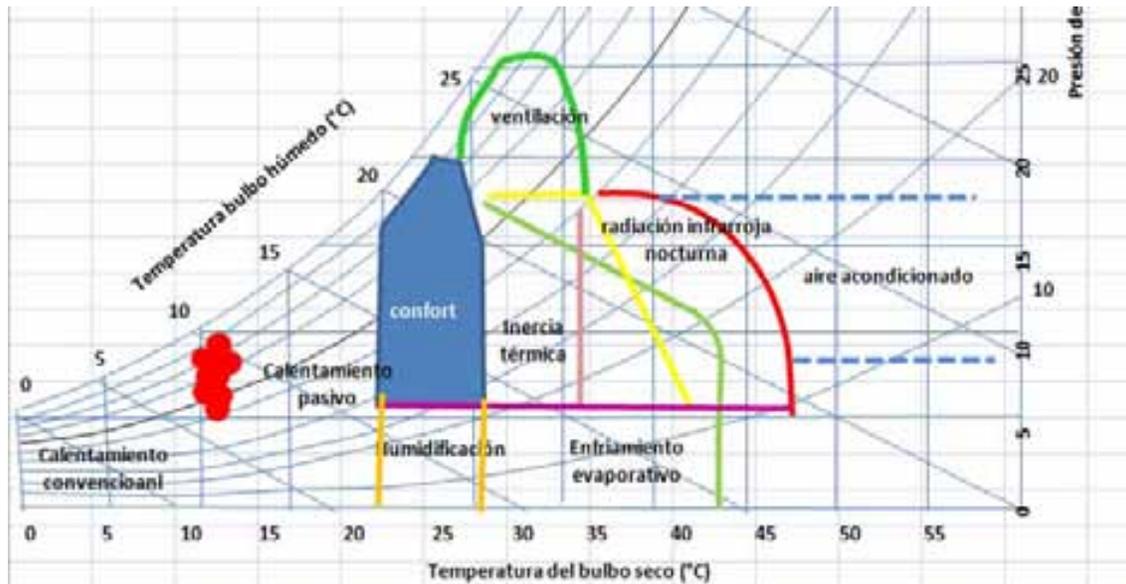


F.108. Gráfica de temperatura horaria ambiental e interior del día 10 de marzo

Es por eso, que aunque las habitaciones tienen orientación sureste, y que tienen captación solar por la mañana, no alcanzan a efectuar la transmisión de calor hasta llegada la noche. En cambio la zona de estar que requiere de asoleamiento por la mañana y parte de la tarde, recibe la radiación hasta llegada la tarde cuando se hace menos necesaria la aportación y como la transferencia de calor por retardo de térmico se hace hasta llegada la noche no tiene el beneficio esperado, pues es el horario cuando ningún usuario se encuentra ahí.

Es importante mencionar que de acuerdo con el Diagrama de Olgay y el resultado de sensación térmica (ver capítulo 7.3), las temperaturas internas se encuentran fuera del rango de confort, y es necesario implementar medidas que incrementen la temperatura al interior. Para lograr un nivel adecuado de confort térmico, los datos de temperatura horaria interior se han vaciado en el diagrama psicrométrico de givoni, esto permite conocer que estrategia de climatización es la más adecuada para lograr el objetivo.

En este caso, la mancha de puntos rojos representan la temperatura interior del día 10 de marzo, ésta mancha se ubica en la frontera entre seleccionar un sistema convencional de calentamiento y uno pasivo. De lo anterior se deduce que en primer término que es necesario recurrir al calentamiento pasivo para alcanzar el deseado confort térmico, ya que parte de la vivienda (habitaciones) tienen asoleamiento gran parte del día, reduciendo así la demanda energética como a continuación en el cálculo térmico se comprobará.



F.109. Diagrama psicrométrico de Givoni, donde se ubican las temperaturas internas respecto a la humedad relativa, y cuyos valores están por completo fuera del rango de confort representados por puntos rojos que forman una obvia agrupación en la zona de calentamiento pasivo.

## 7.8. REQUERIMIENTOS PRIMARIOS

Empleando la Guía de Criterios de Selección del capítulo 6, respecto al inmueble en cuestión, se analizan cada uno de los criterios en base a las condiciones climáticas, bioclimáticas, de usuario e inmueble, de la forma siguiente:

**Temperatura (t.sum):** Considerando que la temperatura ambiente promedio exterior para marzo en la zona de estudio es de 11.20°C, el rango de termopreferencia es entre 18.57 a 23.57°C (ver tabla 26); se requiere un incremento en la temperatura de cuando menos 7.37°C. Por lo que cualquier tecnología del catálogo es adecuada para el suministro óptimo de aire caliente a la vivienda en cuestión (ver tabla 12, capítulo 6.2). Sin embargo, deberán entonces descartarse aquellos sistemas que su costo sea alto, que requiera de equipos para circulación forzada y/o que su instalación tienda a lo complejo.

**Flujo y corrientes de aire (flujo a.):** Los puntos de suministro de aire caliente a seleccionar, deben tener en cuenta la carencia de aislamiento en muros, por lo que es más adecuado un tipo de suministro por piso G (ver figura 79, capítulo 6.2).



**Humedad (H):** Debido a que la humedad relativa promedio durante todo el año supera el 60%, y aún en marzo se alcanza el 85%; el sistema Watergy queda descartado como sistema a seleccionar. A manera de comprobación, se ha utilizado el ábaco 1 para obtener la temperatura efectiva, que es prácticamente igual a la temperatura ambiente (13°C aproximadamente); pues se había mencionado que “las rectas de igual temperatura efectiva son tanto más inclinadas, a medida que la temperatura es más elevada, lo que significa que la influencia de la humedad del aire crece con la temperatura”; para la zona en cuestión, la humedad no resulta tan significativa en cuanto a sensación térmica se refiere respecto a una posible diferencia con la temperatura ambiente. Anticipando los riesgos por condensación, se ha obtenido con el uso del ábaco 2 el punto de rocío (6°C). Las normales climatológicas, expresan mínimas mensuales a lo largo del año incluso por debajo de los 6°C; por lo que resulta benéfico incrementar la temperatura del aire atendiendo los efectos dañinos por condensación (ver capítulo 6.2, humedad).

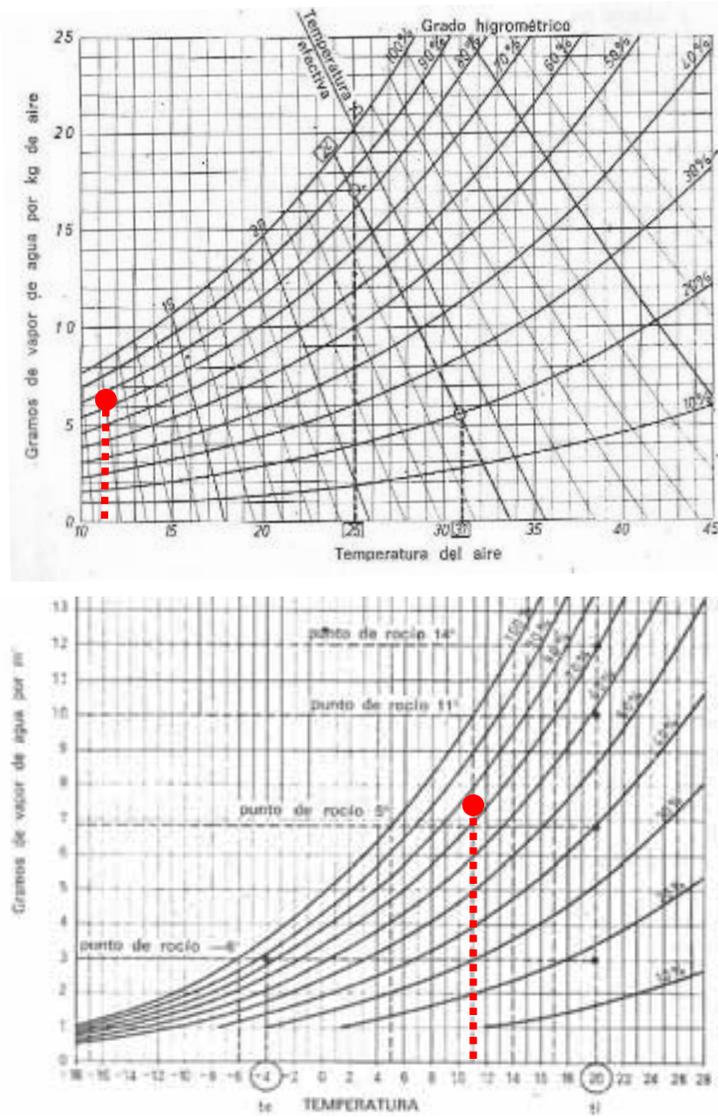


Fig. 110. Uso de ábaco 1 y 2, para obtener la temperatura efectiva y el punto de rocío

**Renovación de aire (R.a):** El área de estudio se haya ubicada a un costado de una reserva natural, por lo que será suficiente introducir un aire con concentraciones de CO<sub>2</sub> al 0.05% (ver capítulo 6.2, renovaciones de aire).

**Zona de suministro (Z.s.):** La vivienda en cuestión está compuesta por una crujía doble, rechazando de esta forma cualquier lineamiento de arquitectura bioclimática, ya que por situarse en un clima frío con poca oscilación anual de temperatura, se requiere de incidencia solar en todos los recintos situación que no se presenta en la crujía hacia el norte y que corresponde a la zona de estar y servicios. De esta forma, lo óptimo será emplear sistemas como OMSolar y Solar roofing Tile. Otra opción es la de un sistema mixto de unidad colectora para cada crujía.

Factor lumínico y visual (F.L.V): La vivienda cuenta con suficiente suministro de iluminación natural y visuales agradables al exterior (área boscosa y jardín trasero), y ya que los usuarios no emiten queja por este aspecto, la propuesta debe evitar tan sólo, obstaculizar las ventanas actuales (ver capítulo 6.3).

Factor acústico (F.A.): Ya que la zona de estudio se encuentra en un área boscosa lejos de fuentes de ruido como (fábricas, tráfico, etc...) no hay motivo para atender necesidades de aislamiento acústico. En lo posible deberá emplearse circulación natural para evitar equipos que generen ruido al interior de la vivienda; tal es el caso de los sistemas solarwall, matrixair y el muro trombe que al basarse en el movimiento natural del aire por termosifón están exentos de equipos de aerocirculación (ver capítulo 6.3).

Factor de percepción ambiental (F.P.A): La vivienda en cuestión, está clasificada como una construcción de interés medio-bajo, por lo que el sistema deberá ser muy sencillo, económico y de fácil funcionamiento. Deberá estar dotado de sencillos dispositivos digitales que informen sobre el estado higrotérmico de los locales interiores. Y deberá además, de ser un sistema de larga duración y resistente al uso (mecanismos de cierre y apertura consistentes), ya que el inmueble se emplea principalmente para uso habitacional para arrendamiento (ver capítulo 6.3). Sobre todos los equipos en forma de dispositivo, son aquellos que más se alejan de una percepción ambiental adecuada, por eso TIM, muro Trombe, Solarwall, Matrixair y Solar roofing tile los más adecuados a este factor.

Eficiencia y eficacia del sistema (E.E): En base a la tabla comparativa número 14, descartando el sistema watergy (por alta concentración de humedad), los sistemas que mayor eficiencia presentan son, en el siguiente estricto orden, solarwall, twin solar, matrixair, muro trombe, etc.; pero a pesar de ello, solarwall y twin solar requieren de una tasa de flujo de aire elevada, mientras que matrixair y el muro trombe están en un rango de 73 y 70 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> respectivamente. Y aunque se sabe que la tasa de flujo de aire por sí sola no determina la eficiencia, si resulta un factor considerable, ya que mayor volumen de aire será más fácil calentado por el sistema como sucede en los sistemas solarwall (130 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>) y twinsolar (120 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>); teniendo una eficiencia de 75 y 70% de eficiencia respectivamente. Al emplear uno de los dos últimos sistemas mencionados, estará también cubierta la eficacia del sistema (ver capítulo 6.5). Por otro lado, para incrementar la eficiencia se recurre al uso de deflectores conforme a los estudios realizados por Ben Slama en el año 2006 (ver capítulo 2.9), ya que al incorporar deflectores un colector alcanza una eficiencia de hasta el 81.5% con tan sólo 50 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>; en base a lo anterior, el sistema Matrixair, y Muro trombe puede ser considerados para su elección si se le incorporan deflectores. Cabe mencionar que el sistema Cansolair por sí solo emplea el principio de deflectores en su serpentín de latas, principio que puede ser empleado e incorporado bajo otro concepto estético.

Intercambio de calor por convección (I.C.CV): Ya que el impacto calorífico por convección se encuentra en función del intercambio con la temperatura del aire circundante, y puede acelerarse a través del movimiento del aire y de la radiación solar; las características selectivas de absorción ( $\alpha$ ) y emisión ( $\epsilon$ ) constituyen un factor primordial en los impactos de la radiación en la placa absorbidora (ver capítulo 6.7). Considerando lo anterior, fe sobre acero pintado en negro tiene la mejor relación emitancia-absortancia  $\alpha= 0.10$ ,  $\epsilon=0.10$ , mismo que emplea el sistema solar wall (sistema que también emplea aluminio como materia prima para la placa absorbidora). A pesar de la excelente relación emitancia-absortancia del fierro sobre acero, es importante atender las características de corrosión, por lo que el aluminio presenta mejor



respuesta ante la intemperie. Aunque el aluminio por sí solo tiene una baja capacidad de emisión (0.03, ver capítulo 2.6); con un tratamiento adecuado como óxido de cobre sobre aluminio anodizado tratado con solución caliente de  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\text{-KMnO}_4$  cuya absorptancia es de 0.85 y su emisividad de 0.11 (poco más alto que anterior material citado). Además, si la placa absorbidora está pintada de negro pero sin pintura en el revés se obtiene una eficiencia de conversión fototérmica del 73% con tasa de flujo de aire de  $60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  (Ben Slama 1987).

Intercambio de calor por radiación (I.C.R.): Ya que la radiación solar atraviesa las superficies traslucidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores de los locales, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior; el uso de espacios tipo invernadero adosados resulta una ventaja muy adecuada para obtener ganancias de calor (ver capítulo 6.7).

Intercambio de calor por conducción (I.C.CD): En el capítulo 6.7 se ha explicado la importancia de altos coeficientes de conductividad térmica en los materiales que transmitirán el calor, o en su defecto, la necesidad de bajos coeficientes de conductividad térmica cuando se recurre a un aislamiento térmico. De esta forma, se sabe que los muros de la vivienda construidos con block hueco tienen una relativa baja conductividad térmica de  $1.07 \text{ W}/\text{m}^2$  (ver tabla 35); motivo por el cual, no se considera necesario complementar el proyecto con una propuesta de aislamiento térmico, al menos en lo que se refiere a muros; ya que solamente en sitio, pueden detectarse puentes térmicos que produzcan pérdidas importantes de calor (ver capítulo 6.7). Sucede que aquellos sistemas que actúan como envolvente contribuyen al aislamiento del inmueble, a diferencia de los equipos tipo dispositivo, por lo que los equipos tipo envolvente tienen la ventaja de I.C.CD.

Intercambio de calor por infiltración y ventilación (I.C.I.V): Por la disposición dentro del terreno (colindancia a colindancia) y por la volumetría de edificios contiguos, se reduce en gran medida el factor de ventilación e infiltración en lo que respecta a cambios de aire. Los puntos de suministro de aire caliente deberán considerar los puntos de infiltración como rendijas de puertas y ventanas, que en lo posible deberán de ser eliminadas; estos puntos de suministro deberán colocarse en zonas opuestas al ingreso de aire del exterior, tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Siendo lo más adecuado, colocar puntos de suministro de aire en zonas bajas al centro del inmueble, y puntos de suministro de aire para renovación en zonas altas cerca de zonas de servicio ver capítulo 6.2 y 6.7).

Intercambio de calor por ganancias internas (I.C.G.I): El tipo de usuarios que el inmueble habitan, realizan actividades sedentarias por la noche y de dormir; en el día, solamente una de ellas efectúa actividad de hasta  $65 \text{ W}$  (ver apéndice D.3) por lo que se requieren de suministro de aire caliente bien repartidos en todos los locales. Los puntos de suministro de aire caliente deberán considerar los puntos de emisión de calor por equipos como el caso de la cocina (ver capítulo 6.7).

Circulación del aire (c. aire): Según la tabla comparativa número 19, los únicos sistemas que se basan en circulación natural es el muro trombe y el sistema TIM, al valerse de la transmisión de calor por convección y de la radiación respectivamente. El modo de circulación de aire, no limita la elección del sistema, pero entendiendo que resulta complicado suministrar aire caliente a zonas bajas de los recintos donde es más necesario, se dificulta la mayoría de las ocasiones utilizar circulación natural; pero ya que el primer criterio de selección es “dar prioridad a todas aquellas técnicas que implican hacer el edificio pasivo” (ver capítulo 6.1), deberá de darse

preferencia a los sistemas que no recurran a energías adicionales, equipos mecánicos o circulación forzada; tal es el caso de los dos sistemas antes mencionados.

**Capacidad de almacenamiento (cap.alm.):** Aunque existen diversas formas de almacenamiento de calor, se recomienda el uso de roca por la accesibilidad a las mismas en cualquier proyecto (ver capítulo 6.9), ya que el intercambio de calor queda asegurado por el área superficial de las rocas y la resistencia que éstas oponen al paso de aire (ver capítulo 3.4). La dimensión adecuada de rocas más apropiada varía entre 1 y 5 pulgadas, dependiendo del volumen del contenedor y la distancia que el aire debe recorrer. Las piezas más pequeñas de rocas tienen mayor eficiencia en la transferencia de calor, pero se necesita más potencia en los ventiladores pues se incrementa la resistencia del paso del aire por las rocas<sup>100</sup>. El diseño del lecho de rocas depende del espacio disponible, pudiendo ser horizontal y vertical; pero los lechos verticales proporcionan las mejores características, ya que se aprovechan del efecto termosifón del aire.

**Control y usuario (Control):** El segundo criterio de selección le da importancia a las características del usuario, por ejemplo sus hábitos y tradiciones para el uso de una vivienda (ver capítulo 6.1). Debido a que el inmueble se usa principalmente para arrendamiento, y eso genera una rotación en el tipo de usuarios; por tal motivo, entre más automatizado esté el sistema mayor comodidad se ofrece a quien utiliza el sistema. A la hora de seleccionar el sistema y existen ventajas similares entre 2 ó más sistemas que cumplan con los requisitos antes analizados, un alto grado de usabilidad (ver capítulo 6.10) tiene la última palabra.

## 7.9. REQUERIMIENTOS SECUNDARIOS Y ELECCIÓN FINAL

La siguiente tabla resumen, sintetiza el capítulo 7.8 producto del análisis de la Guía de Criterios de selección para el inmueble en cuestión. Permite visualizar que sistemas tienen el mayor número de ventajas, debe observarse el sombreado de las casillas en sentido vertical por cada uno de los equipos, las siglas de la primera columna está referido en el capítulo anterior.

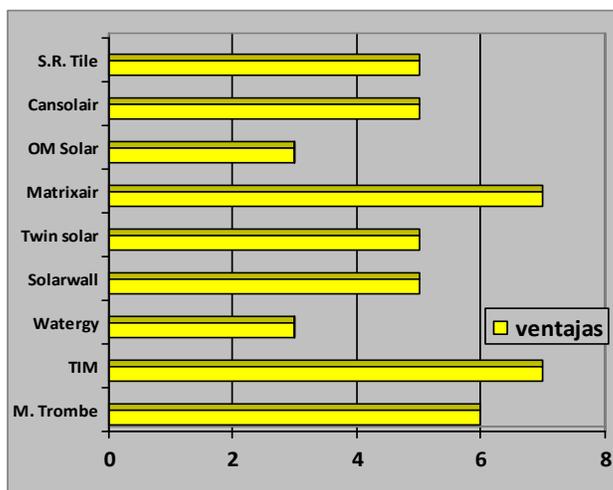
Equipo	M. Trombe	TIM	Watergy	Solarwall	Twin solar	Matrixair	OM Solar	Cansolair	S.R. Tile
t. sum									
Flujo a.									
H									
F.L.V.									
F.A.									
F.P.A.									
E.E.									
C. aire									
Control									

Tabla 34. Comparativa de ventajas de cada equipo tecnológico para requerimientos primarios

En base a la tabla 33, se ha producido una gráfica comparativa (figura 111) que demuestra que tanto el sistema Om Solar como el Watergy son los equipos más inadecuados para ser empleados en la vivienda del caso de estudio en el Desierto de los Leones, por lo que quedan descartados en esta fase. Para poder realizar la elección final, los requerimientos secundarios serán importantes para realizar la última elección. Para ese fin, se hace un análisis similar al de requerimientos primarios, y posteriormente se realiza una tabla comparativa (tabla 35).

<sup>100</sup> Watson, Donald. Designing and building a solar house. Capital city press. Vermont, USA. 1981.





F.111. Gráfica de ventajas comparativas para el uso de equipos

Valor estético (estética): El éxito de aceptación por parte del usuario radica en gran medida en el aspecto estético, y habiendo considerado todos los aspectos funcionales y de usabilidad, el valor estético puede tener gran peso para la elección de un sistema. Para esta situación en particular se había visto que el muro trombe, TIM, solarwall, twinsolar y matrixair, cumplen en muchos aspectos con los requisitos técnicos. Es el sistema solarwall aquel que tienen mayor porcentaje (72%) de votos a favor en cuanto a valor estético (ver capítulo 6.11).

Mantenimiento (M.I.L): La tabla comparativa número 21, evidencia que los únicos cuatro sistemas que no facilitan el mantenimiento, inspección y limpieza son los sistemas Watergy, OM Solar, cansolair, S.R.Tile U (ver capítulo 6.12).

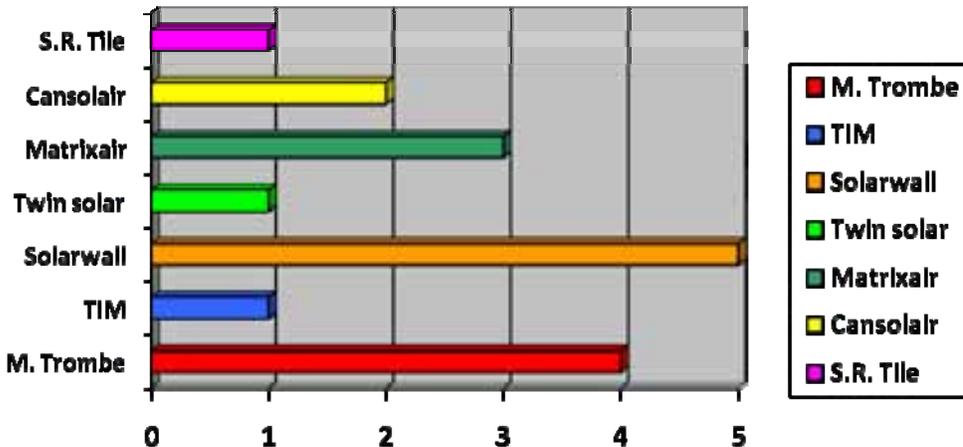
Ahorro energético, inversión y amortización (A.I.A): Debido a que la vivienda es de nivel socioeconómico medio bajo y se emplea para alquiler, deberá buscarse un sistema económico para que la inversión sea proporcional al uso. Haciendo referencia a la tabla 25, Solarwall, Solar Roofing Tile, Muro Trombe y Sunmate son los sistemas relativamente más económicos; sin embargo, no se justifica el uso de la teja traslúcida (Solar Roofing Tile) puesto que el techo es plano y no se apreciaría la intervención en techo, misma situación que en parte sucede con el sistema Sunmate, por lo que quedan descartados. Por lo anterior, Solarwall y el Muro Trombe son aquellos dos sistemas que tienen mayor factibilidad económica, y por lo tanto de amortización.

Impacto ambiental (I.A): Aunque el objetivo de los equipos tecnológicos del catálogo del capítulo 5 es el de reducir el impacto ambiental al emplear la energía limpia del sol, cada uno de los equipos en mayor o menor medida impactan el ambiente, ya sea con el tipo y cantidad de materiales que emplean, o equipos auxiliares de los que se valen. Por lo que resultan algunos equipos con mayor tendencia a los sustentables que otros, como sucede con el muro Trombe, Solarwall, Matrixair y sobre todo Cansolair que está fabricado con latas de aluminio recicladas de refresco.

Modelo de cálculo de unidad colectora (.M.C.): Aunque el total de los equipos tecnológicos tienen una forma de obtener la dimensión de la unidad colectora, cuando se diseña lo óptimo es tener un modelo de cálculo (matemático o computacional) que permita generar datos (al menos aproximados) para poder hacer comparaciones entre uno y otro equipo. A causa de esto, tan solo el sistema Solarwall y el muro Trombe, tienen esta característica (ver capítulo 6.15).

Equipo	M. Trombe	TIM	Solarwall	Twin solar	Matrixair	Cansolair	S.R. Tile
estética							
M.I.L.							
A.I.A							
I.A							
Modelo							

Tabla 35. Comparativa de ventajas de cada equipo tecnológico para requerimientos primarios



F.112. Gráfica comparativa de ventajas de equipo tecnológico para requerimientos secundarios

La anterior gráfica, expresa que el sistema Solarwall tiene el mayor número de ventajas en cuanto a requerimientos secundarios se refiere, en segundo y tercer lugar los sistemas Muro Trombe y Matrixair respectivamente. Sin embargo, debe recordarse que el Muro Trombe en requerimientos primarios obtuvo el puntaje más alto, por lo que si a consideración del diseñador considera más pertinente esta opción será apropiado. Para efectos de del documento, se desarrollará el caso de estudio con el sistema Solarwall conforme a los resultados de los requerimientos primarios y secundarios producto del análisis de la guía de Criterios de Selección.

Nombre de la tecnología:	SOLAR WALL <sup>101</sup>		
País de origen:	Canadá	Empresa:	Conserval Engineering
Inventor:	Hollick, John C. y Peter, Rolf W.	Año invención:	1985
Inst. que avala:	Retscreen, ASES, ESTIF, SEIA, USGBC.	Recup. Inversión:	6 años
Tipo de colector:	Envolvente	Acumulador:	No
Costo en dólares:	\$15.00/m <sup>2</sup> aprox.	Eficiencia:	75%
Edificio de aplicación:	Comercial, industrial e institucional	Tipo de SCSA:	Por techo/por fachada
Área de aplicación:	Fachada, techo y techo inclinado	Temp. suministro:	+ 16 °C
Peso:	1.7kg/m <sup>2</sup>	Flujo de aire:	130 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Dimensiones:	2 x8 ft		
Materiales	Metal o aluminio		

Tabla 36. Ficha técnica del sistema solarwall.

<sup>101</sup> Solarwall. <http://solarwall.com/en/home.php>



## 7.10. CÁLCULO DE SCOSA

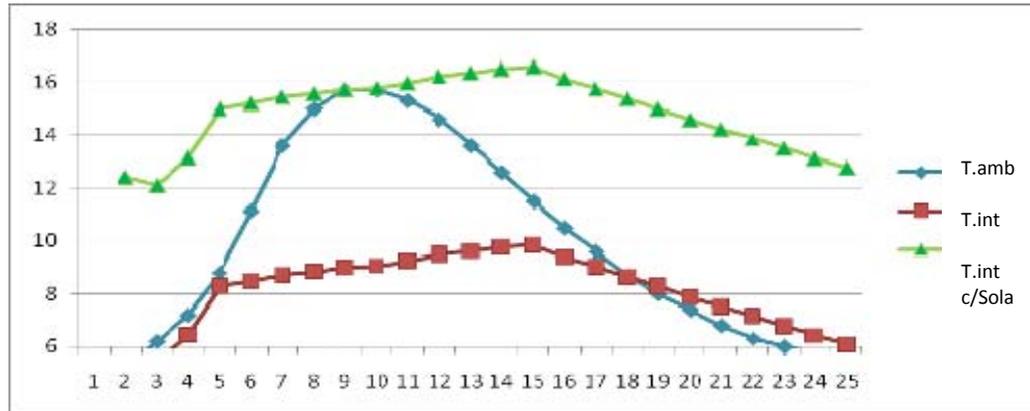
**UNIDAD COLECTORA:** Para dimensionar la unidad colectora del sistema Solarwall, se ha seleccionado el método publicado por Retscreen International con sede en Canadá llamado SAH3<sup>102</sup>, exclusivo para el cálculo del sistema mencionado. Para realizar el cálculo son requeridos datos de insolación, viento y temperatura media mensual. Se especifica el tipo de energía que de no existir esta tecnología se usaría, en este caso electricidad. Se introduce la temperatura mínima y máxima interna deseada en, 22°C y 24°C respectivamente conforme al rango de confort antes obtenido (ver 7.4); el número de días y horas en que opera el sistema (7 días x 24 horas) y el flujo promedio de aire propuesto, que se estima en base al número de usuarios y al objetivo para el cual está diseñado el sistema, en este caso 432 m<sup>3</sup>/h en un sistema de alto volumen de aire. Igualmente se introduce la absorptancia del material en base al color a seleccionar, 0.90 considerando un color café oscuro sobre la superficie captadora. Este modelo creado por RETScreen tiene ciertas limitaciones: no incluye sistemas de recuperación de energía, el modelo solo se limita a la tecnología Sollarwall y el modelo asume un balance de ventilación. Con la introducción de los anteriores datos se obtiene lo siguiente:

Características del sistema		Estimación	Rango
Tipo de aplicación	-	Ventilación	
<b>Caso base/sistema de calefacción</b>			
Tipo de energético convencional	-	Electricity	
Eficiencia del sistema convencional	%	100%	0% to 350%
<b>Edificio</b>			
Tipo de edificio	-	Residencial	
Temperatura interior deseada (TP)	°C	21.1	20.0 to 25.0
Máxima temperatura de suministro	°C	24.0	
Valor U de muros	m <sup>2</sup> - °C/W	1.7	0.1 to 10.0
<b>Requerimientos de flujo de aire</b>			
Flujo de aire de diseño	m <sup>3</sup> /h	432	50 to 1,000,000
Días de operación semana	d/w	5.0	0.0 to 5.0
Horas de operación por día	h/d	24.0	5.0 to 24.0
Días de operación por fin de semana	d/w	2.0	0.0 to 2.0
Horas de operación por fin de semana	h/d	24.0	5.0 to 24.0
<b>Colector solar</b>			
Objetivo de diseño	-	Alto volumen de aire	
Objetivo de diseño	-	Café oscuro	
Absortividad solar	-	0.90	0.20 to 0.99
Área de colector solar sugerida	m <sup>2</sup>	3	
Área de colector solar seleccionada	m <sup>2</sup>	3	
Porcentaje de sombra por día	%	5%	0% to 50%
Tasa de flujo de aire de ventilador	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	108	
Promedio de temperatura aportada	°C	6.7	
Potencia de ventilador	W/m <sup>2</sup>	4.0	0.0 to 7.0

Tabla 37. Datos arrojados por el modelo Retscreen en el aspecto de unidad colectora

<sup>102</sup> RETScreen International. Solar air Heating Project Analysis. www.retscreen.net. Canada.

Entonces, conforme a las normales climatológicas del desierto de los leones (ver 7.3), seleccionando una superficie café oscuro con una absortancia de 0.90, con un porcentaje de sombra del 5% principalmente, se tiene obtiene un área de colector solar de 3 m<sup>2</sup>, lo que implica que se suministra aire caliente que eleva la temperatura interior en promedio 6.7°C (ver tabla 34). La gráfica de la figura 113, expresa que la mayor parte del día la temperatura interna utilizando el sistema Solarwall se encuentra por encima de la temperatura ambiente, y por consiguiente de la temperatura interna sin el uso del sistema.

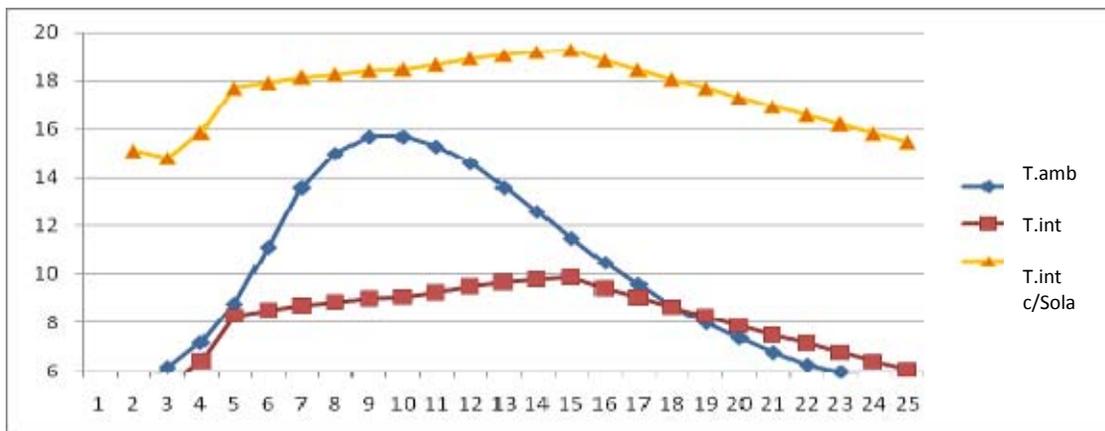


F.113. Gráfica de temperatura ambiente, temperatura interna y temperatura interna utilizando 3m2 de superficie colectora

Ahora bien, si se recuerda que la temperatura de termopreferencia mínima es de 18.57°C, la media de 18.57°C y la máxima de 23.27°C; sabemos que aún no se alcanza el mínimo del rango de termopreferencia por lo que debe hacerse un ajuste el área de unidad colectora como a continuación se visualiza en la tabla.

Solar Collector			
Objetivo de diseño	-	Alto volumen de aire	
Objetivo de diseño	-	Café oscuro	
Absortividad solar	-	0.90	0.20 to 0.99
Área de colector solar sugerida	m <sup>2</sup>	3	
Área de colector solar seleccionada	m <sup>2</sup>	7	
Porcentaje de sombra por día	%	5%	0% to 50%
Tasa de flujo de aire de ventilador	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	62	
Promedio de temperatura aportada	°C	9.4	
Potencia de ventilador	W/m <sup>2</sup>	4.0	0.0 to 7.0

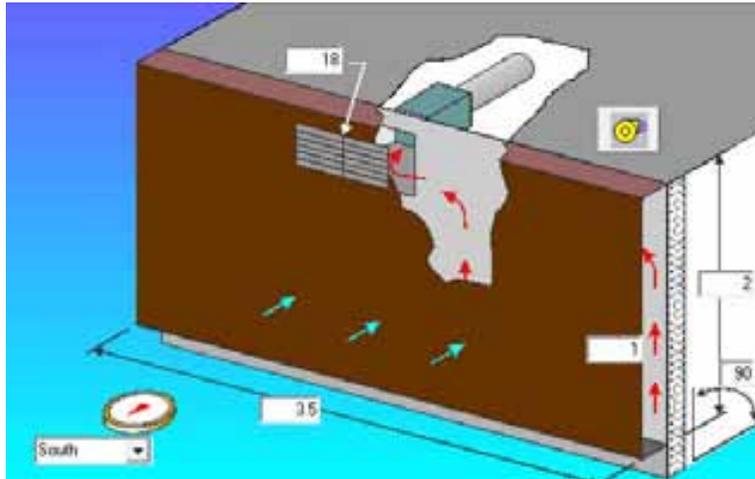
Tabla 38. Datos arrojados por el modelo Retscreen modificando el área de unidad colectora



F.114. Gráfica de temperatura ambiente, temperatura interna y temperatura interna utilizando 7m2 de superficie colectora



Calentamiento solar por aire



F.115. Imagen previa de superficie colectora del sistema Solarwall

SUSBISTEMA DE ALMACENAMIENTO: Una vez que se obtiene los datos de la unidad colectora se procede al cálculo del subsistema de almacenamiento y distribución. Para el primer caso, se emplearan ecuaciones de Shubert et.al.<sup>103</sup> del capítulo 7 para obtener la masa total de almacenaje que en este caso será de rocas se emplea la ecuación:

$$m = Q / C_p \times \Delta t$$

Donde:

M = masa

Q =  $I_o n A$  (Donde  $I_o$  es la radiación global, n es la eficiencia de la unidad colectora y A area de unidad colectora)

$C_p$  = Calor específico de la roca en

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura entre temperatura exterior e interior (obtenida por simulación)

Con esto, se obtiene la masa total de 593 kg (ver anexo A), pero se requiere saber el volumen que ocupa, por lo que se recurre a la ecuación:

$$V = m/p$$

Donde:

V=Volumen de rocas

m = masa de rocas en kg

p = Densidad de rocas (27120 kg/m<sup>3</sup>)

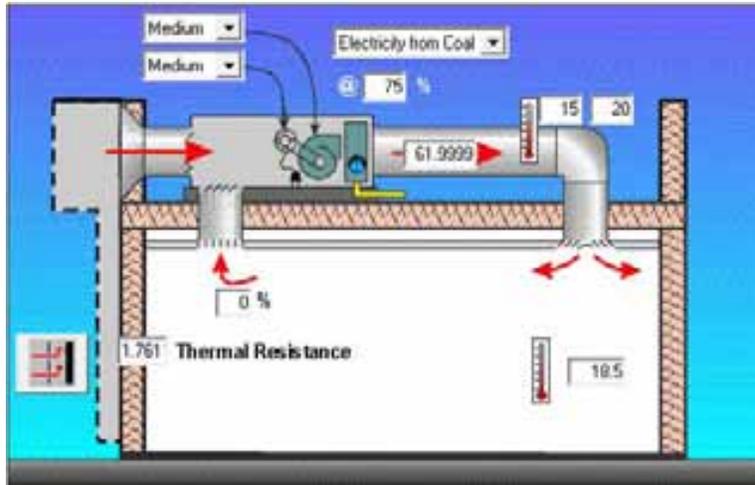
El producto de multiplicar la densidad de rocas por una masa de 593 kg, resulta en **16.73 m<sup>3</sup>** de roca para almacenar la energía térmica que será empleada en horas de ausencia de incidencia solar.

Se ha seleccionado como material acumulador de calor, las rocas conforme al argumento del capítulo 6.9, con un tamaño medio (2 a 10 cm de diámetro) de tipo redondo en lo posible y de un tamaño similar, según Whitman<sup>104</sup>.

<sup>103</sup> Fundamental of Solar heating. Capítulo 7. 1981.

<sup>104</sup> WHITMAN, William. Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado. Cengage Learning Editores. 2000

**SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN:** Empleando el programa de cómputo SWift99, pueden tres datos significativos en cuanto a distribución del aire se refiere. En primer lugar, el valor U de aislamiento térmico que se generará en el muro donde se implemente el sistema Solarwall en este caso 1.761 W/hm<sup>2</sup>°C; la eficiencia del aerocirculador (75%) y la tasa de flujo de aire (62 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>). Que en conjunto, aseguran el suministro de adecuado del aire calentado en la unidad colectora.



F.116. Imagen previa de subsistema de distribución (izq) y aerocirculador centrífugo (der)

**ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO:** Conforme a lo expuesto en el capítulo 6.14 y posteriormente lo analizado en los requerimientos secundarios, resulta de gran interés conocer el número de toneladas de CO<sub>2</sub> que se evitan por emplear un sistema de energías renovables. Esta cantidad se obtiene en comparación, con el empleo de energía eléctrica que los usuarios empleaban para encender radiadores eléctricos al interior de la vivienda objetivo del caso estudio.

<b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR POR AIRE (SCSA) V.S. ELECTRICIDAD</b>						
	Mezcla energética (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg/GJ)	Emisiones CH <sub>4</sub> (kg/GJ)	Emisiones N <sub>2</sub> O (kg/GJ)	Eficiencia (%)	GHG (t <sub>CO2</sub> /MWh)
Electricity	3.6%	174.5	0.0047	0.0047	100.0%	0.634
Solar	94.6%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	0.000
Mezcla energética	100.0%	6.4	0.0002	0.0002		0.023
<b>Emisión de gases invernadero (GHG)</b>						
	(t <sub>CO2</sub> /MWh)	(t <sub>CO2</sub> /MWh)	(MWh)	(t <sub>CO2</sub> )		
<b>SCSA</b>	0.634	0.023	3.3	2.02		
				Net GHG emission reduction t <sub>CO2</sub> /yr	<b>2.02</b>	

Tabla 39. Datos arrojados por el modelo Retscreen. Reducción de gases efecto invernadero



Calefacción solar por aire

**PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ANUAL:** El programa estima la producción anual del sistema de la siguiente forma: energía solar capturada por el sistema (473 kWh/m<sup>2</sup>), disponibilidad solar mientras el sistema opera (66%), energía renovable colectada (3.1 MWh), energía renovable suministrada (3.3 MWh). Todas estas características, el programa SAH3 las considera para el cálculo.

Producción energética anual (6.0 meses analizados)		Estimación	Rango
Energía solar capturada	kWh/m <sup>2</sup>	473	
Eficiencia del colector	%	56%	
Disponibilidad solar durante operación	%	66%	
Energía renovable colectada	MWh	3.1	
Pérdidas de calor de edificio recuperadas	MWh	0.2	
Energía renovable suministrada	MWh	<b>3.3</b>	
	kWh	3,313	

Tabla 40. Datos arrojados por el modelo Retscreen en el aspecto de producción energética anual

**ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y AMORTIZACIÓN:** En el caso de los sistemas solares térmicos, se está hablando de un periodo de vida superior a los veinte años. La amortización de las instalaciones de energía solar ha descendido desde diez años hasta, en algunos casos, seis o siete por la tendencia a subir de los combustibles<sup>105</sup>. El periodo de amortización depende de varios factores: calcular bien las necesidades, la forma de financiación, la calidad en la instalación y en los materiales y el grado de uso que se haga de las instalaciones. Cuanto más se usen más rápido se amortizan. Speyer explica que si los costos de almacenamiento se pudieran reducir a un quinto de los actuales, o si el costo de los colectores se pudieran reducir a la mitad o a un tercio, o bien incrementar su eficacia actual, entonces la calefacción solar puede llegar a ser competitiva.

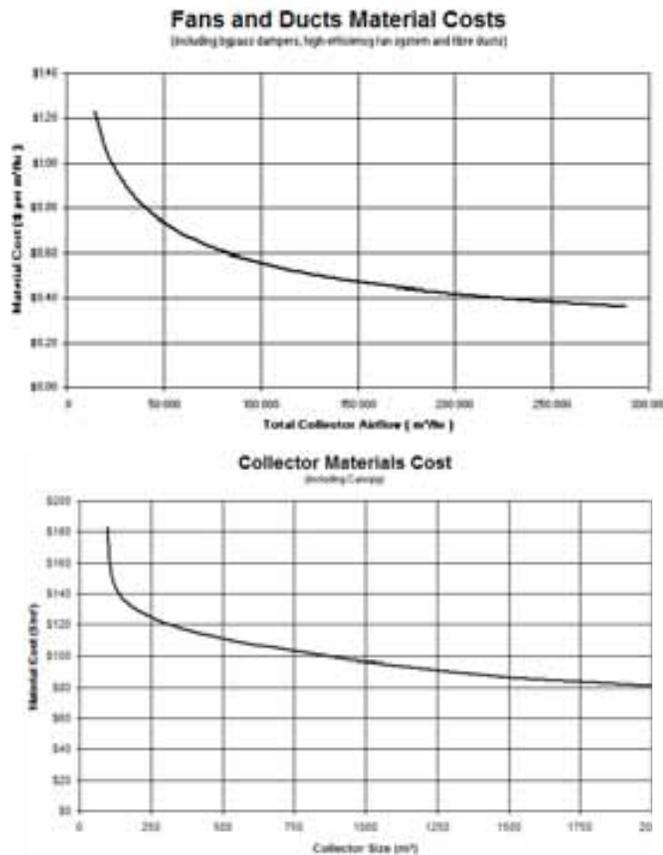
Inversión inicial	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo en dls.	%
<b>Equipo energético</b>					
Materiales del colector solar	m <sup>2</sup>	4	\$ 90	\$ 630	
Instalación de equipo	m <sup>2</sup>	4	\$ 50	\$ 350	
Material de revestimiento	m <sup>2</sup>	-4	\$ 45	\$ (315)	
Mano de obra/revestimiento	m <sup>2</sup>	-4	\$ 28	\$ (196)	
Equipo energético auxiliar	Cost	0	\$ -	\$ -	
Sub-total :				<b>\$ 469</b>	45.2%
<b>Equipo de distribución</b>					
Ductos y ventiladores	m <sup>3</sup> /h	432	\$ 1.40	\$ 605	
Instalación	m <sup>3</sup> /h	432	\$ 1.00	\$ 432	
Equipo auxiliar	Cost	0	\$ -	\$ -	
Sub-total :				<b>\$ 389</b>	37.5%
<b>Gastos extras</b>					
Gastos generales	%	10%	\$ 858	\$ 86	
Entrenamiento	p-h	0	\$ -	\$ -	
Imprevistos	%	10%	\$ 858	\$ 94	
Sub-total :				<b>\$ 180</b>	17.4%
<b>Costo total de inversión inicial</b>				<b>\$ 1038</b>	100.0%

Tabla 41. Datos arrojados por el modelo Retscreen: Inversión inicial

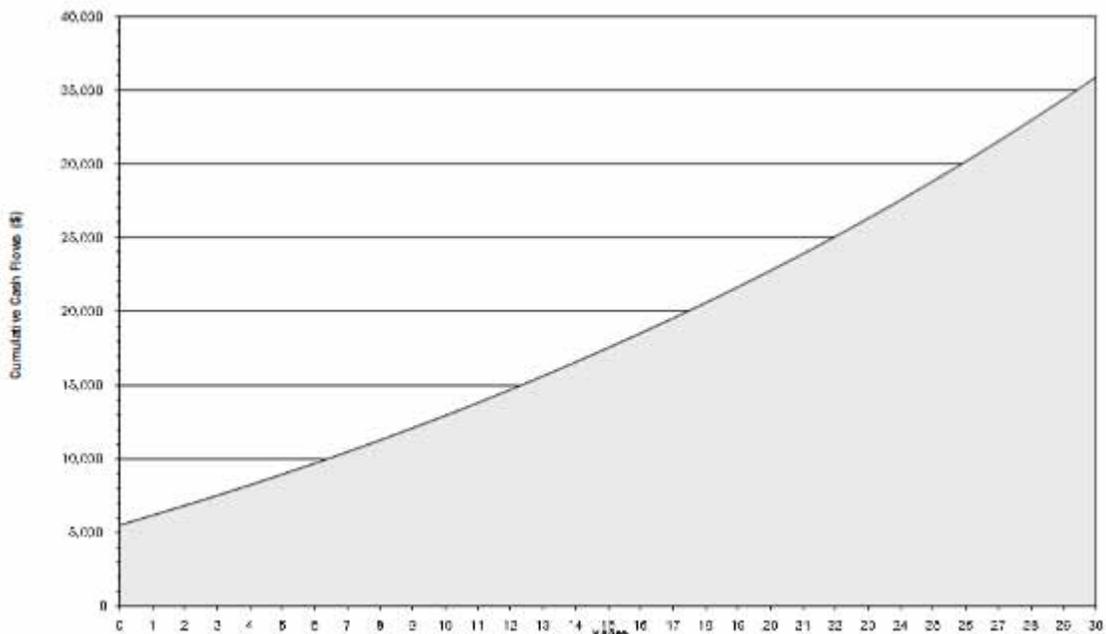
<sup>105</sup> ENERGÍA DIARIO. "La amortización de los equipos de energía solar baja de 6 a 10 años ante la alza de los combustibles" Madrid, España. Agosto 17, 2008.

El ahorro económico se hace perceptible a largo plazo, porque proyectos tan pequeños como la vivienda del caso de estudio, muy lejos de presentar una inversión baja en proporción; tiene un alto costo como se aprecia en las gráficas de la figura 117 en lo que a costo de ventilador, materiales de ducto y colector se refiere.

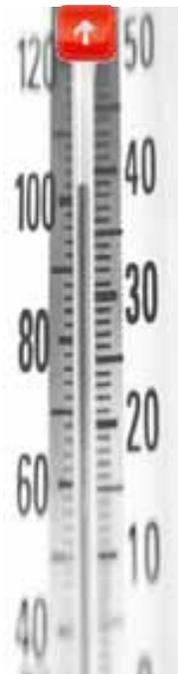
Sin embargo, un sistema solarwall, con apropiada limpieza y mantenimiento tiene un periodo de vida de cuando menos 30 años. Para este proyecto, el tiempo de amortización se realiza de uno a dos años (figura 118), momento a partir del cual el usuario genera un ahorro anual de \$1,325 dólares.



F.117. Gráfica de costo de materiales de ductos y aerocirculador. proporcional al área (arriba). Gráfica de costo de materiales de superficie captadora en relación al área de unidad colector (abajo). Solar Air Heating Project Model. RETscreen International. Canada.



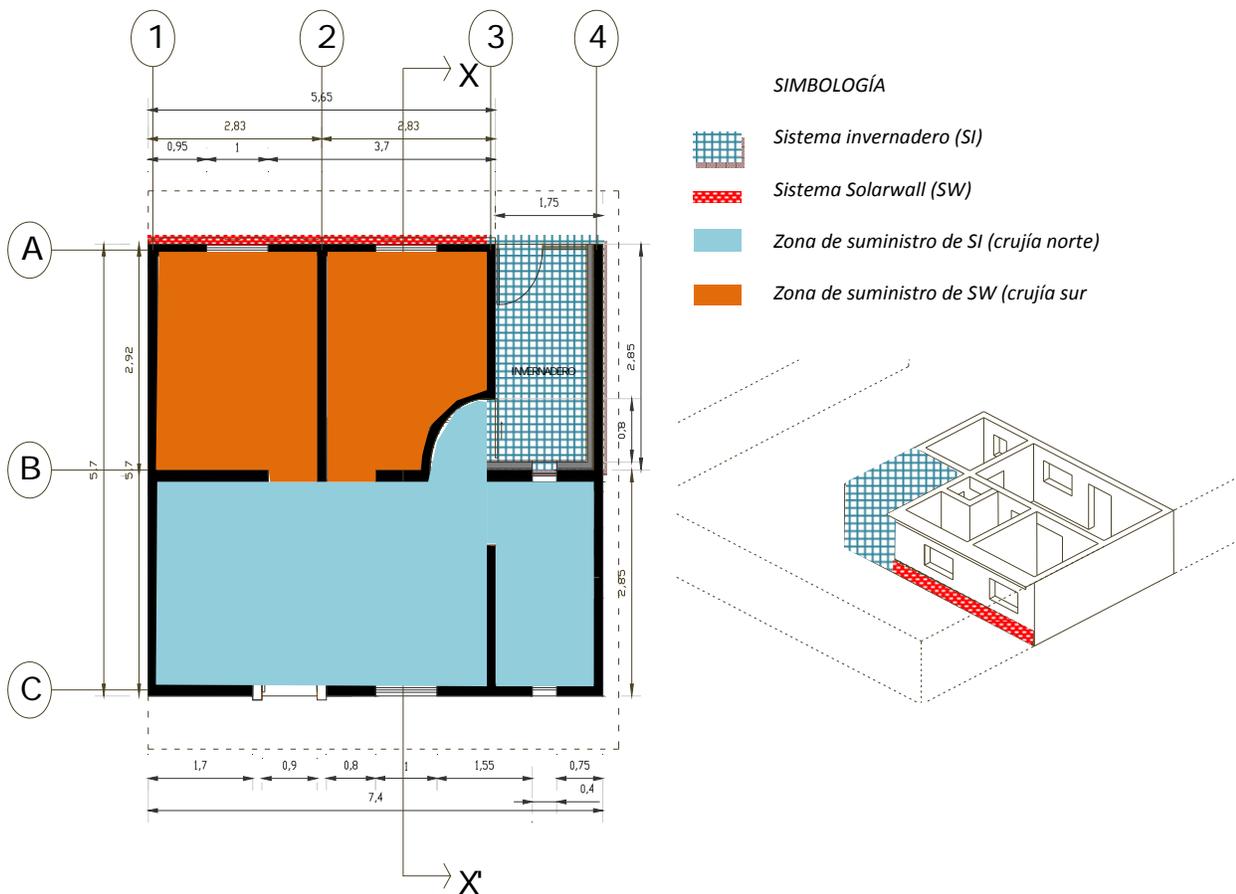
F.118. Tiempo de amortización empleando el sistema Solarwall.



Calefacción solar por aire

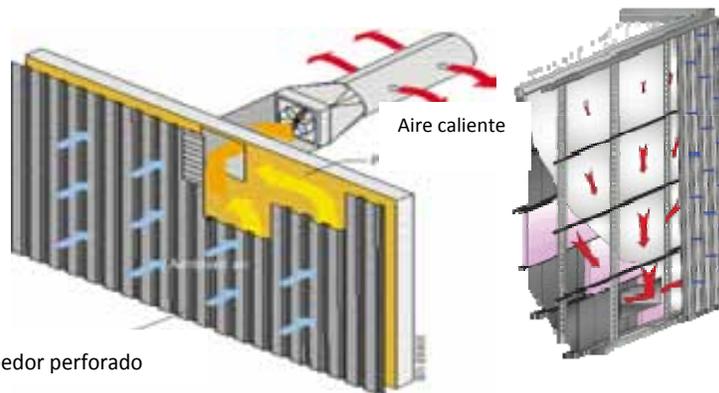
## 7.11. DISEÑO DE SCSA

Una vez adquiridos los datos de dimensión de unidad colectora, y subsistema de almacenamiento y distribución, se procede a realizar un diseño que considere aquellos obstáculos físicos que interfieren con la libre incidencia solar (bardas, edificios, vegetación abundante, etc). Debido a que el inmueble en cuestión presenta una configuración de doble crujía, es necesario realizar una propuesta de doble unidad colectora; de forma tal que aquellos datos calculados en capítulos previos serán de utilidad para la crujía con orientación sur, y la segunda crujía deberá ser resuelta en lo que respecta a suministro de aire caliente con una unidad colectora adicional evitando de este modo ductos y aerocirculadores. Un diseño con ductos y aerocirculadores se ha evitado, ya que la altura (2.38 mts) limita la posibilidad de plafones que alojen ductos, por otro lado hemos de recordar que entre más distancia exista entre la unidad colectora y el punto de suministro la eficiencia general del sistema decrece. Al respecto, se ha realizado un diseño para la crujía norte, que aloja estancia y servicios, cuyo suministro de aire caliente proviene de un espacio adicional tipo invernadero. Entonces tenemos: sistema solar wall (SW) que atiende fachada sur de dos recámaras y sistema invernadero (SI) que atiende la crujía norte.



F.119. Planta arquitectónica (der.) e isométrico (izq.) para ubicar la propuesta doble de unidad colectora SW y SI

**Sistema Solarwall (SW):** Este sistema tiene la particularidad de inyectar el aire caliente por la zona superior lo que dificulta el suministro adecuado de aire caliente en las zonas inferiores donde más se requiere al interior por efecto convectivo del aire.



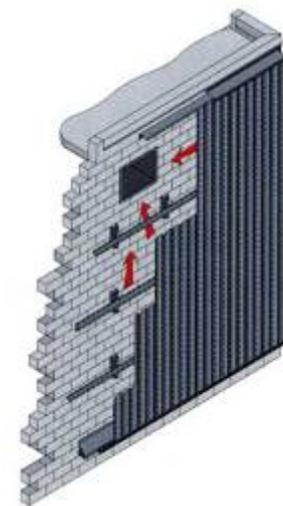
Absorbedor perforado

F.120. Diferencia en la forma de suministro entre el sistema Solarwall (izq) y el sistema matrixair (der).

Por tal motivo, el suministro de aire se hará por la zona inferior del muro sur de la vivienda imitando el sistema Matrixair (ver 5.6); esto implica que los 7m<sup>2</sup> necesarios de superficie colectora se ubicarán a modo de lambrín dejando en la zona inferior una toma de aire a lo largo de la fachada sur. Esta modificación se propone, porque el confort térmico más difícil de atender es en las zonas bajas de un volumen dado. Cabe destacar que no será necesaria un área colectora de 7 m<sup>2</sup>, ya que tan sólo se están considerando dos recintos correspondientes a las recámaras por lo que la superficie requerida es tan sólo de 3.5 m<sup>2</sup>. Por lo anterior la placa absorbadora en color café oscuro tendrá una dimensión de 5.65 metros de longitud (mismo largo de la fachada) y una altura de 0.70 metros separado del piso 10 centímetros que permiten el ingreso del ambiente exterior.

El funcionamiento particular de esta unidad colectora está regido por la incidencia solar que calienta la superficie de la placa absorbadora, misma que realiza la conversión fototérmica y transfiere la energía térmica al aire que circula entre la placa de aluminio y el muro de la vivienda. Para periodos de frío y durante el día, los difusores deben de estar abiertos para permitir el ingreso constante de aire caliente y solo deberán cerrarse en horas de escasa o nula incidencia solar como el caso de días nublados. En caso de ser una época calurosa, simplemente los difusores serán cerrados.

Como se ha dicho previamente, el diseño de un SCSA deberá estar acompañado de una propuesta de aislamiento térmico. En este caso, será necesario dotar a la cara interior del muro sur y oriente de aislante térmico dentro de un lambrín que bien puede ser de tablarroca o madera. No será necesario, realizar este procedimiento para el resto de los muros, ya que el muro poniente estará resguardado por el sistema de invernadero que por su volumen de aire actúan como una gran cámara de aire y se comporta como aislante térmico; ni tampoco el muro interior hacia la zona de estar pues el volumen de esta zona actúa como retardador de la fluctuación térmica posible.



F.121. detalle constructivo SW



Calefacción solar por aire

**Sistema invernadero (SI):** En contraste con el sistema SW, esta unidad colectora tiene una superficie acristalada en la zona superior que actúa como techo, y en la fachada sur un cancel de vidrio y puerta como parte de la relación con el jardín trasero. La superficie absorbidora está definida por elementos constructivos en tonalidades oscuras, que incluye muros y piso. Este sistema tiene la ventaja que no actúa como un dispositivo o un elemento sobrepuesto, sino que representa un espacio adicional que incrementa el área habitable de la vivienda.

La distribución actual de la vivienda no considera una conexión entre el jardín posterior y el área habitable, por lo que parte de la propuesta del invernadero considera este factor. Además, el área que interconecta la estancia y el invernadero, sirve como zona de control de suministro de aire caliente durante el día mediante una puerta corrediza que sella herméticamente, misma que deberá ser cerrada en el periodo nocturno para no permitir el escape de aire caliente cuando se presente el fenómeno de equilibrio térmico.

Comprender el fenómeno de equilibrio térmico resulta importante para controlar adecuadamente la temperatura, pues debido a que los cuerpos de mayor temperatura ceden calor a los de menor temperatura, durante del día el aire que se calentado en el invernadero será menos denso y será reemplazado por una masa de aire de mayor densidad y menor temperatura (aire frío de la estancia). Esto ocurrirá hasta establecerse un equilibrio térmico, pero el efecto se invertirá en periodos de ausencia solar prolongado. Sin embargo, ya que lo que interesa es retener el aire caliente obtenido, la puerta corrediza antes mencionada al cerrarse, evitará el intercambio de calor entre ambos volúmenes de aire (masa de aire del invernadero y de la estancia) en periodos de ausencia solar cuando no hay aportes de calor. Este proceso de apertura y cierre de puertas deberá formar parte del uso común de la vivienda, tanto como cerrar la puerta principal de entrada representa un medio de seguridad.

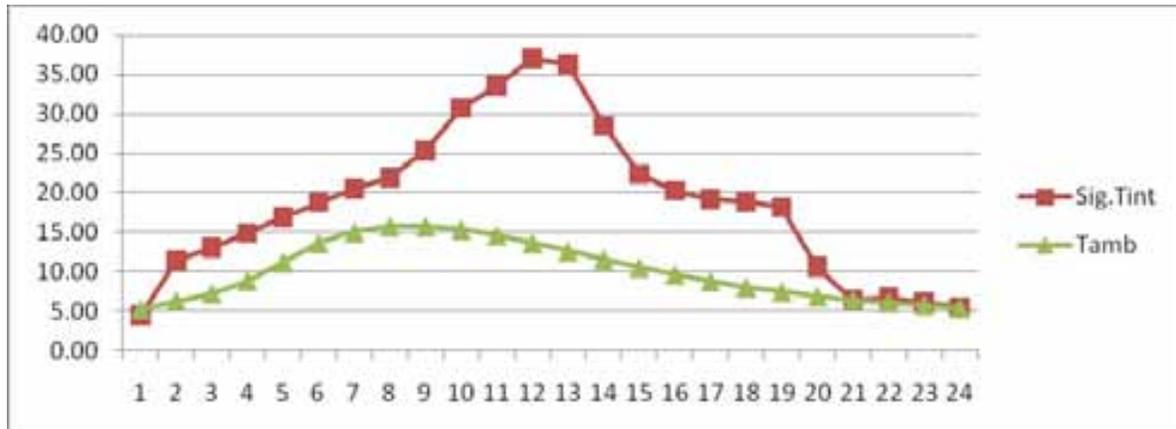


*F.122. Detalle de superficie acristalada en techo*

El área de invernadero tendrá capacidad para un volumen de  $11.5 \text{ m}^3$  de aire, funcionará como un dispositivo de colector solar de aire pero sus dimensiones tendrán la escala de la vivienda. Para crear el espacio en cuestión deberá de construirse un muro al oriente cuya cara interior tendrá una capa de aislamiento térmico misma que recibirá un a capa de piedras a modo de subsistema de almacenamiento mismo que será explicado en el siguiente apartado.

La fachada sur tendrá una superficie acristalada con una puerta para acceder al jardín; asimismo, el techo estará provisto de una segunda superficie acristalada soportado por un sistema de pérgolas metálicas o en aluminio en color oscuro para contribuir a la captación de energía solar como elementos absorbedores. El piso y el muro que colinda con la recámara, estarán pintados en color café o cualquier tonalidad oscura para que trabajen como elementos absorbedores y acumuladores debido a su inercia térmica y que contribuyan a emitir en el periodo nocturno la energía térmica acumulada durante el día.

Debido a que es una propuesta que modifica el volumen de aire del inmueble, y tienes las características de unidad colectora, ha sido necesario realizar el cálculo térmico correspondiente. El día y hora de inicio para el cálculo, es el mismo que el empleado para obtener la temperatura interna horaria de la vivienda (10 de marzo a las 8:00 hrs); sin embargo, la capacitancia es de 1680 KJ/°C, considerando que se tiene la fachada sur y el techo como superficies acristaladas y el muro oriente con aislante térmico.



F.123. Gráfica de temperatura interna en invernadero obtenida por colección solar

Con el cálculo térmico pueden obtenerse las temperaturas internas horarias del día citado; la oscilación térmica tiene un claro inicio de incremento a las 7:00 hrs, momento en los rayos solares comienzan a incidir, alcanza su punto máximo a las 17:00 hrs con 36.91 °C y tiene un claro descenso de temperatura a las 20 horas, cuando hay una temperatura ambiente de tan solo 10.5 °C y 87% de humedad relativa. Estos datos permiten determinar el aporte calórico que efectuara el invernadero adosado a la crujía norte como un sistema de colección solar de aire.

Cabe mencionar que el invernadero a pesar de ser una unidad colectora y alcanzar temperaturas máximas fuera del rango de confort, debido a que tiene la facilidad de tener mecanismos de apertura y cierre, para impedir pérdidas de calor o por el contrario provocarlas; podrá ser habitable en la medida en que se realice un equilibrio térmico adecuado, sea porque se hace un intercambio de calor entre la masa de aire de la zona de estar con la masa de aire del invernadero que se supone de temperatura más elevada, o porque es una época tan calurosa que el intercambio de calor se hace con el ambiente exterior abriendo la puerta hacia el jardín posterior.

**SUSBISITEMA DE ALMACENAMIENTO:** Se halla ubicado dentro del invernadero, y su expresión constructiva es la de un muro en "L" con la sección más larga en el muro oriente y la sección corta en el muro colindante con el baño. Su funcionamiento e importancia es evidente en las horas de ausencia de energía solar, ya sea por periodos de nubosidad o debido al periodo de la noche y tiene capacidad para emitir calor por 1.5 días.

Este muro acumulador está compuesto de rocas atrapadas entre una superficie acristalada y una capa aislante solo en el caso del muro oriente, ya que para el caso del muro colindante con el baño será beneficioso todo intercambio de calor por conducción que pueda presentarse. Las

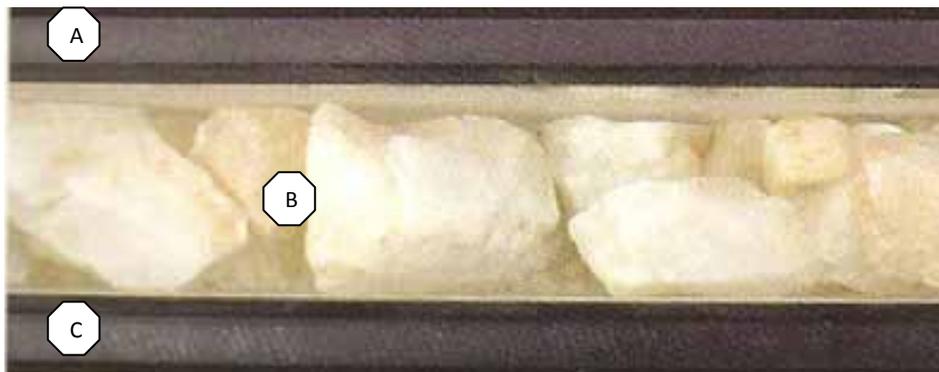


rocas son calentadas directamente por los rayos solares actuando como superficie absorbadora, ya que los rayos solares ingresan directamente al invernadero por la superficie acristalada tanto del techo como de la fachada sur. Las perdidas de calor son reducidas por conducción gracias al aislamiento térmico colocado entre la capa de rocas vertical y el muro construido para soportar este sistema en la fachada oriente; y por convección y radiación por el calor acumulado en el aire del invernadero en contacto con este muro acumulador.



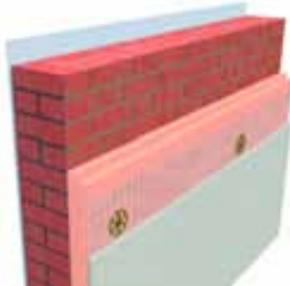
F.124. Detalle de apertura de registro vertical en área de conexión estancia – invernadero en fase nocturna

Por otro lado, ha de recordarse que tanto el muro colindante con la recámara 2 como el piso mismo tienen la función térmica de acumular calor y emitirlo durante la noche con la exclusiva finalidad de evitar pérdidas de calor del muro acumulador por conducción entre el vidrio del muro acumulador y el aire del invernadero que presenta una disminución en la temperatura por ausencia de radiación solar, evitando de este modo pérdidas de calor por equilibrio térmico. Cabe aclarar que el vidrio del muro acumulador, además de incrementar la colección de energía solar creando un efecto invernadero al interior de este subsistema de almacenamiento, permite conducir el aire caliente hasta la zona de conexión invernadero-estancia beneficiándose en este caso del equilibrio térmico que se producirá generando que el aire caliente al interior del muro acumulador se mueva en dirección del registro vertical como punto de intercambio entre masa de aire con importante diferencial de temperatura.



F.125. Detalle de muro acumulador con vidrio (a) rocas (B) y aislamiento térmico (C)

**AISLAMIENTO TÉRMICO:** Se ha puesto énfasis en la importancia de complementar una propuesta de SCSA con su respectiva propuesta de aislamiento térmico, ya que sin esto último el proyecto en general carecería de validez ya que toda ganancia calorífica tendría alta posibilidad de ser perdida por efecto conductivo de elementos constructivos.

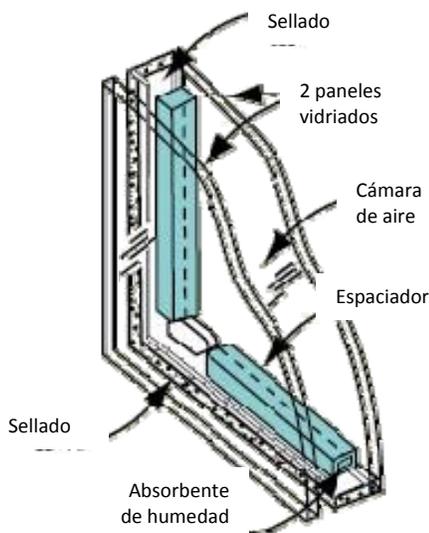


F.126. Detalle constructivo de muros intervenidos con aislamiento térmico (arriba) y modelo en isométrico (abajo). Fachada sur y norte.

Al respecto, ya que la conductividad térmica de los muros es de  $3.28 \text{ W/Hm}^2\text{°C}$  es necesario reducir este valor con materiales que opongan más resistencia para transmitir el calor. Para ello se ha propuesto aplanar los muros en su cara exterior, colocar fibra de vidrio como material aislante y un lambrín de tablaroca logrando de esta forma una conductividad térmica de  $0.44 \text{ W/Hm}^2\text{°C}$ . Cabe destacar que es importante dejar un espacio entre la fibra de vidrio y la tablaroca para formar una barrera de vapor, para evitar que la fibra de vidrio se humedezca, ya que la fibra de vidrio al estar dotada de propiedades higroscópicas pierde su capacidad aislante y por el contrario se convierte en conductor (ver 6.3, humedad); adicionalmente esto crea moho y mal olor. Aquellos muros que se verán beneficiados son los pertenecientes a las fachadas sur y norte, ya que el muro colindante al invernadero de la recámara 2 y los muros interiores, al colocarse este sistema constructivo de aislamiento impiden todo intercambio de calor entre recintos de la vivienda.



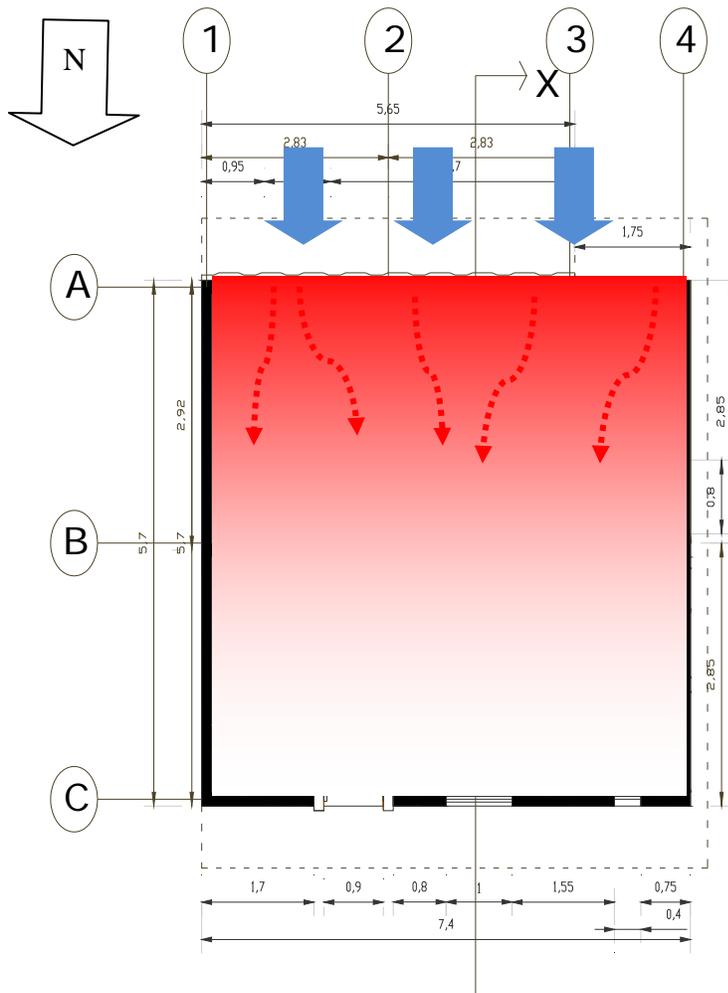
Calentamiento solar por aire



F.127. Detalle constructivo de ventana doble

Adicionalmente del reacondicionamiento térmico en muros, deberá necesariamente reducirse el factor U de ventanas que por ser vidrio sencillo tiene un valor de  $5.7 \text{ W/Hm}^2\text{°C}$ . Para este fin, se propone el uso de ventanas dobles con cámara de aire tal como se expone en la imagen 127 logrando con esto una conductividad térmica de tan solo  $2.7 \text{ W/Hm}^2\text{°C}$ . Con esta medida, se reduce la pérdida de calor general de la vivienda pues se evitan infiltraciones por cancelería, y al dotar de una cámara de aire hermética entre los paneles de vidrio ésta actúa como aislante térmico. Por otro lado, es importante recordar que los puntos de suministro de aire caliente deberán de estar alejados de ventanas para evitar de esta forma el efecto de panel frío (ver 6.3, humedad), sin embargo, de llegar a producirse cualquier tipo de condensación con diferencial de temperatura ésta será captada por el material absorbente al interior de la cámara.

**FUNCIONAMIENTO:** Se ha mencionado que el sistemas de calefacción solar para esta vivienda se compone de una solución mixta en lo que respecta a la unidad de colección (SW y SI), y un subsistema de almacenamiento ubicado en el área de SI. Aunque se han tratado sus características por separado, por tratarse de un sistema, este solo alcanza su objetivo de proporcionar confort térmico, únicamente si todos los componentes del sistema trabajan de forma interactiva.

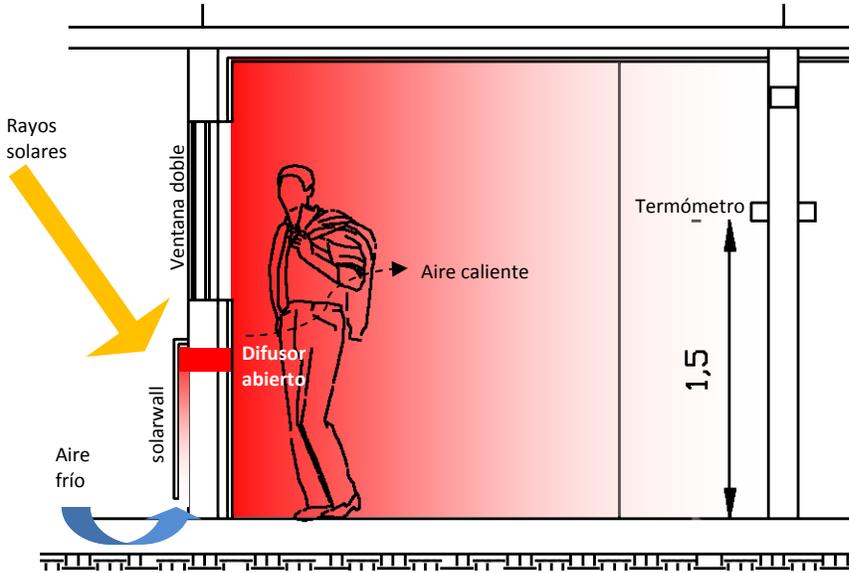


F.128. Esquema de funcionamiento en planta en periodo diurno

Este sistema por depende de la energía solar como fuente de suministro energético para proporcionar calor al inmueble, tiene dos fases muy marcadas de funcionamiento. La primera está dada por el ciclo diurno y la segunda por el periodo nocturno.

Fase diurna: Cuando los rayos solares inciden en la unidad colectora SW y SI ubicados en fachada sur, el calor obtenido mediante conversión fototérmica es distribuido al espacio interior de forma inmediata alcanzando el rango de confort siempre que las puertas de ambas recámaras y de la conexión al invernadero estén abiertas. Esto con el fin de proporcionar calor al área de la vivienda más vulnerable a temperaturas bajas, que en este caso es la zona de estar y el baño, ya que están dispuestos en una segunda crujía con orientación norte.

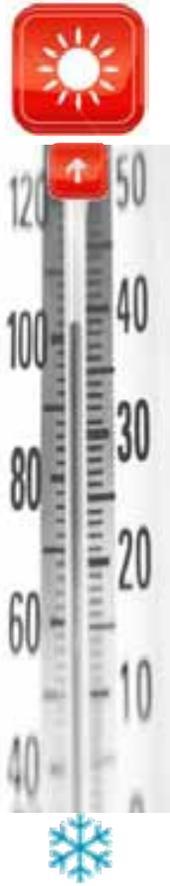
La importancia de procurar que la crujía norte esté provista de niveles adecuados de confort en la fase diurna, se debe a que las actividades que se desarrollan al interior suceden de la siguiente forma: la estancia se ocupa en un horario de las 8:00 hrs a las 22:00 hrs, y las recámaras tan solo de las 22:00 hrs a las 8:00 hrs con uso esporádico durante el día. Por esta razón es importante proveer a la zona de mayor uso durante el día, de calor captado en fachado sur por elementos de colección solar.



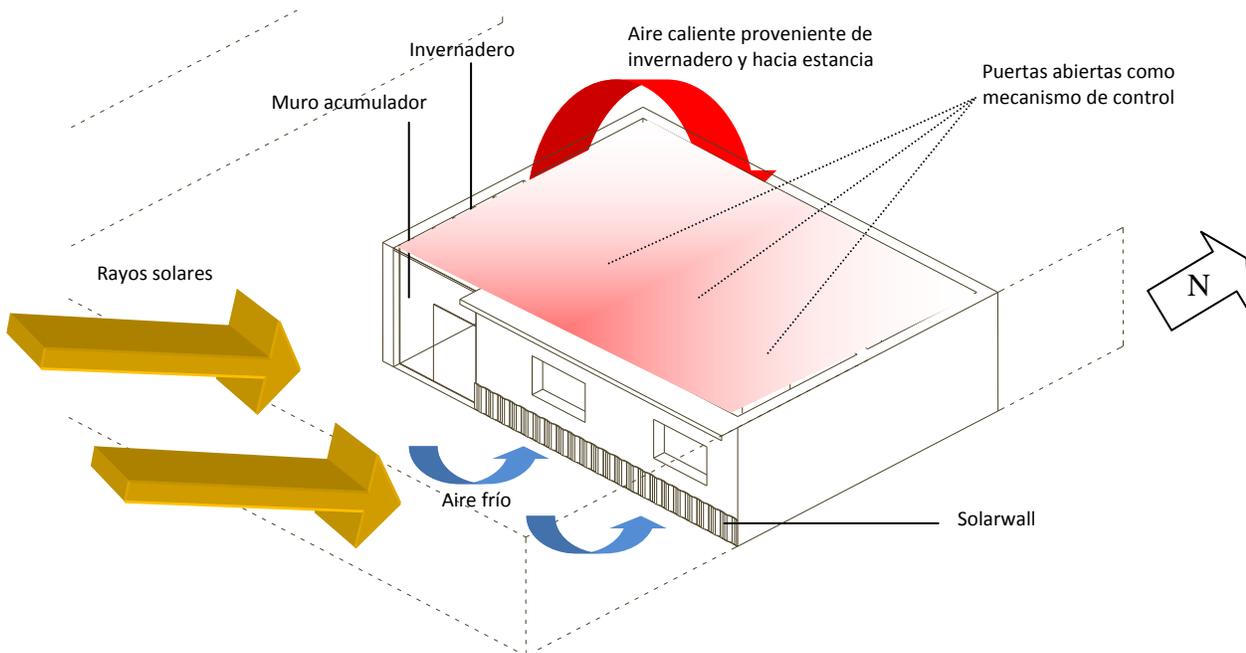
F.129. Esquema de funcionamiento en corte transversal de zona de recámaras (fase diurna)

temperatura hasta alcanzar el rango de confort; para asegurar esta condición, el recinto estará dotado de un sencillo termómetro digital que indique la condición térmica del momento lo que permite al usuario establecer un control del espacio en el que habita.

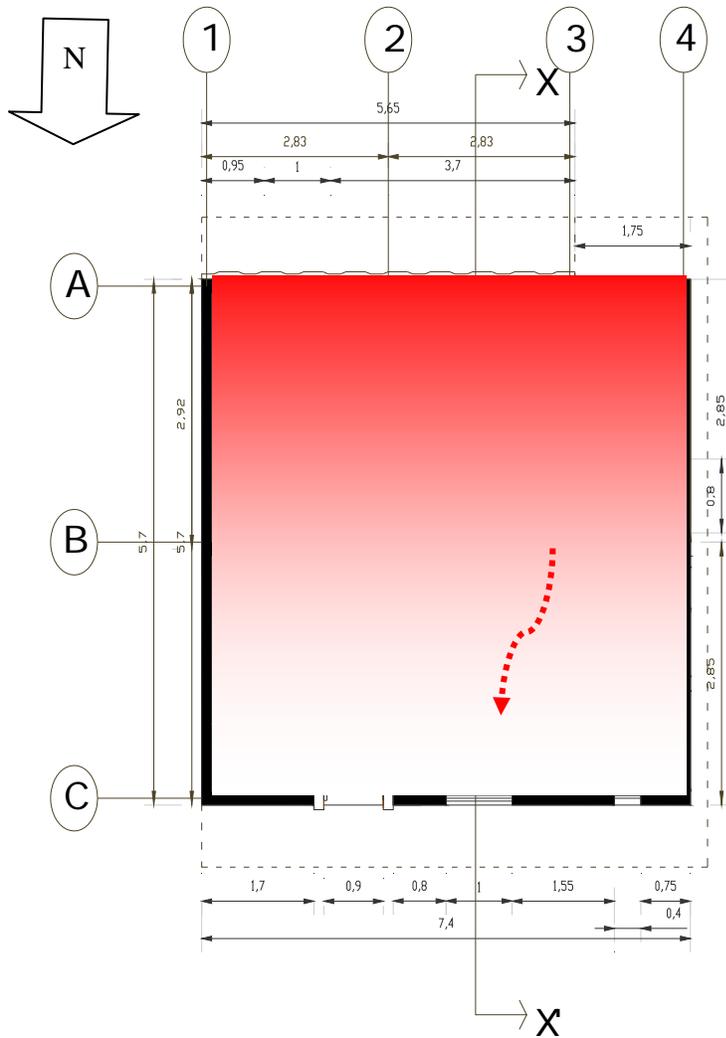
En el área de recámaras, tal como se aprecia en la figura 129, el aire frío que ingresa por la franja inferior del SW es calentado de forma progresiva y suministrado al interior del recinto a una altura de 0.70 cm con la finalidad de que sea un suministro de aire por convección natural independiente de todo mecanismo. Con el difusor abierto por el usuario, la habitación incrementará su



Calefacción solar por aire



F.130. Esquema de funcionamiento en isométrico (fase diurna)



F.131. Esquema de funcionamiento en planta fase nocturna

**Fase nocturna:** Al llegar el periodo de la noche, los difusores en las recámaras deberán cerrarse para evitar pérdidas de calor cuando el ambiente de estos espacios trate de equilibrarse con la cámara de aire del SW, y conforme al reporte del termómetro el usuario podrá optar por: (1) abrir el registro vertical del muro acumulador, cerrando la puerta corrediza que conecta estancia e invernadero; o (2) cerrar las puertas de ambas recámaras para beneficiarse exclusivamente del calor acumulado durante el día en ese espacio.

También será viable abrir el registro vertical del muro acumulador en aquellos periodos de ausencia solar y que se carezca de confort térmico, por ejemplo al usar el área de estar muy temprano por la mañana o avanzada la noche. Pero cada una de estas opciones, estará en función de lo que el usuario decida; por lo que es de suma importancia que un usuario que adquiera un SCSA esté informado de la forma en que se hacen los intercambios de

calor en su vivienda para así ejercer control sobre su medio. El hecho de que un usuario comprenda el funcionamiento general de un SCSA evita un posible desuso del sistema.

Un sencillo termómetro digital facilitará al usuario manejar el sistema adecuadamente, para ello deberán colocarse estos dispositivos a una altura de 1.50 metros de altura ya que es la distancia promedio del suelo al área del hipotálamo, zona en que el cuerpo humano registra la temperatura ambiente e inicia los mecanismos de termorregulación.

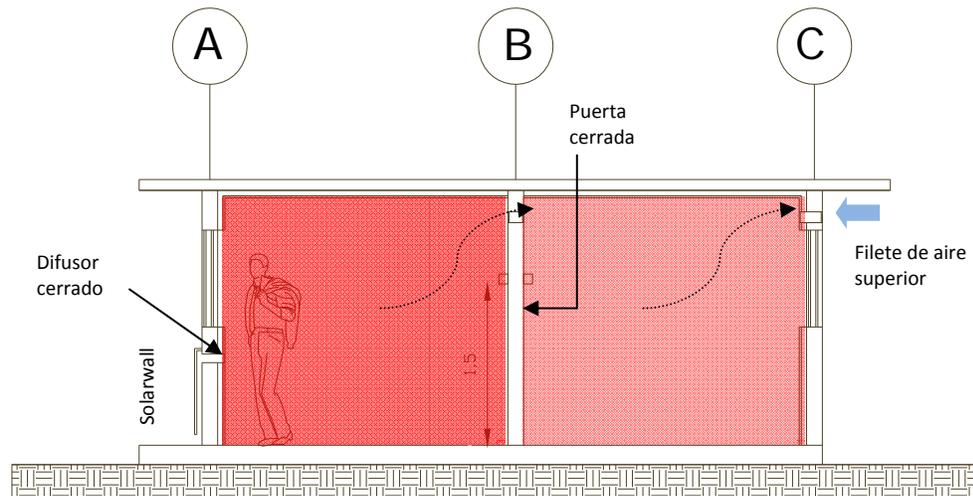


F.132. Termómetro digital



F.133. Difusor para muro

Tal y como el termómetro digital es un dispositivo de control, también lo son los difusores manuales. Estos dispositivos están diseñados para ser controlados manualmente, y tienen mejor eficiencia de distribución de aire, aquellos que como el de la figura 133 permiten la difusión del aire en tres sentidos. Para el caso de la vivienda en cuestión, estos serán colocados en pares en el muro de la fachada sur al interior de ambas recámaras, y a una altura de 70 centímetros.



F.134. Esquema de funcionamiento en corte transversal x-x' (fase nocturna)

Así como la propuesta de SCSA debe estar acompañada por una propuesta de aislamiento térmico, también será un punto importante para atender, la forma en que se renovará el aire. No habrá que confundirse una propuesta de aislamiento térmico un hermetismo del inmueble; es común considerar que un inmueble que requiere de calefacción evitará a toda costa la pérdida de energía térmica. Sin embargo, el espacio debe estar dotado de una ventilación apropiada para renovar el aire interior que se vicia simplemente por el aire que exhalamos; la ventilación deberá estar separada tanto de los puntos de suministro como de los mecanismos de iluminación natural (ventanas).



## **8. CONCLUSIONES**

La calefacción cae dentro del rubro de la climatización, cuando decimos calefacción solar integramos el concepto de energías renovables, pero al incluir el término aire pareciera que estamos restringiendo el campo de acción. Muy por el contrario, los sistemas de calefacción solar por aire tienen la ventaja de ser incorporados a un edificio existente, y por tanto, a un edificio nuevo. Por otro lado, al utilizar aire para transportar calor generamos un ambiente más natural y saludable; y esto sucede porque el aire que circunda el inmueble, además que es el mismo que respiramos y que se calienta por conversión fototérmica, es el mismo que la unidad colectora emplea para calentarlo al estar expuesta al sol, mismo que también se suministra a modo de calefacción hacia el interior del inmueble produciendo un ambiente higrotérmicamente homogéneo.

Esto significa que al emplear el aire como fluido caloportador los beneficios se potencian, ya que no solo se atienden las necesidades de confort higrotérmico, sino que a diferencia de otros fluidos como el agua, estos sistemas pueden integrarse sin dificultad. El motivo radica en el hecho de que un sistema de calefacción solar que ocupa aire para transportar y transferir calor, no puede llegar a sobrecalentarse ni puede congelarse, por otro lado, de existir fugas las consecuencias no son tan desastrosas y pueden ser fácilmente percibidas por un descenso en la eficiencia del sistema. Pero lo más importante es que un SCSA bien diseñado que elimine distancias entre unidad colectora, almacenamiento y punto de suministro, prescinde de ductos y equipos de distribución, haciendo que la transmisión de calor al usuario sea casi imperceptible y por tanto natural.

Se ha visto que en un sistema de calefacción por aire, requiere cuando menos tres subsistemas que integran al conjunto: colección, almacenamiento y distribución. Hasta ahora, los documentos que tratan el tema han estudiado cada uno de los subsistemas por separado; motivo por el cual el documento se ha enfocado a atender esta cuestión. La mayoría de los modelos matemáticos y computacionales permiten el cálculo de la unidad colectora; además existen pocos procesos de cálculos sobre almacenamiento respecto a la temperatura de suministro de una unidad colectora, y mucho menos de distribución y control que se derivan directamente de las distancias recorridas por el aire como fluido. Por otro lado, estos modelos (sobre todo de origen comercial) conciben siempre a la unidad colectora como un dispositivo y no como parte de la envolvente; y al subsistema de almacenamiento como un contenedor y no como parte de los elementos constructivos.

Sin embargo, el éxito de un SCSA está basado en propuestas de unidad de colección que esté estrechamente relacionada con el subsistema de almacenamiento, el cual resulta la piedra angular para la efectividad de un SCSA pues para aquellos climas semifríos donde es necesaria la calefacción, se ven afectados por periodos de nubosidad durante la fase diurna. Así mismo, el éxito no puede ser alcanzado si la propuesta de diseño no está acompañada por una intervención de aislamiento térmico en el inmueble, ya que todo incremento de temperatura logrado por unidad colectora y conservando cuidadosamente por el subsistema de almacenamiento, es perdido por infiltración, puentes térmicos, corrientes de aire indeseadas y pérdidas de calor por conducción. De ahí, el motivo por el que este documento contiene información meticulosa en el capítulo 2 y 3 sobre colección, almacenamiento y distribución; ya que si la comprensión de estos rubros difícilmente podrá generarse una propuesta bien fundamentada.

Resulta relevante recalcar que esta investigación maneja la calefacción solar por aire como una serie de sistemas que si bien pueden tener la forma de dispositivo, la envolvente resulta ser la opción más acertada. Además, al concebir a la calefacción solar por aire como un sistema, se acentúa la concepción de que los elementos interactúen entre sí para lograr un fin, en este caso confort térmico, bajo criterios de una integración arquitectónica rigurosa que permite establecer estándares mucho más elevados de incorporación de equipos tecnológicos y materiales novedosos que afortunadamente han ya salido al mercado, algunos de los cuales han sido recabados y concentrados en el catálogo de equipos tecnológicos del capítulo 5.

Cuando se trata de una rehabilitación térmica de un edificio en uso, además de proporcionar confort térmico que es prioridad, también se contribuye a reducir el impacto ambiental, se obtiene ahorro energético que conlleva al deseado al ahorro económico. Adicionalmente un SCSA que es expresado constructivamente como envolvente, puede incrementar la plusvalía del inmueble ya que al utilizar esta tecnología a forma de recubrimiento y no como un dispositivo extra cuya exclusiva misión es la de proporcionar aire caliente, se cumple con la misión de modernización de los muros y/o techos existentes, teniendo como beneficio adicional mejor asilamiento térmico, mejora en la calidad del aire interior y más y mejor ventilación. Además desechar o despreciar un inmueble ya construido es un despilfarro, siempre es preferible rehabilitar, reformar e invertir en edificios existentes que construir nuevos. Rehabilitar es siempre más sustentable que cualquier modo de edificar nuevo. Por tal motivo, los sistemas de calefacción solar por aire aplicados a edificios existentes tienen un enorme atractivo financiero.

Al respecto, ya que esta investigación sostiene la importancia de rehabilitar un inmueble, tuvo que generarse una Guía de Criterios de Selección que pudiera contemplar numerosas variables que se ven involucradas en el momento de tomar una decisión. Y ya que se tratan de casos de rehabilitación, la guía antes mencionada no deberá emplearse como lineamientos infalibles, pues cada inmueble a rehabilitar presentará condiciones particulares y resultará primordial emplear el criterio para producir un SCSA exitoso. El valor de esta guía se basa en proporcionar un directriz cimentada en tres puntos fundamentales: (1) interpretación correcta de datos climáticos, (2) efectivo procesamiento de datos climáticos para generar datos bioclimáticos y (3) análisis exhaustivo de las condiciones del inmueble, identificando las zonas potenciales y de vulnerabilidad térmica. A partir del análisis de estos tres puntos, la toma de decisión final estará basada en los conocimientos de termodinámica básica que pueden ser adquiridos haciendo una lectura detenida del apéndice de este documento que fue expresamente generado para ese fin. De este modo el resultado de emplear la Guía de Criterios de Selección estará más allá de tan solo seleccionar aquellos equipos tecnológicos que el catálogo del capítulo 5 ofrece, sino que podrán generarse propuestas de espacios anexos al cuerpo general del inmueble como invernaderos, o la envolvente misma será la unidad colectora o subsistema de almacenamiento.

Es por eso que, se ha hecho énfasis en esta investigación de que al emplear sistemas de calefacción solar por aire, pueden emplearse dispositivos, pero que la mejor estrategia para integrarlo arquitectónicamente es la de intervenir la envolvente. Con un diseño de estas características, la finalidad es crear un sistema integral que responda tanto a las condiciones ambientales exteriores como interiores del inmueble y del usuario. Generando un sistema natural que asemeje a un organismo que responde como cualquier otro a los cambios constantes de temperatura; de esta forma se está diseñado en concordancia con el organismo que habita al interior, y con el organismo al que pertenece llamado planeta Tierra. A partir de ello se considera a un sistema de calefacción solar por aire como un elemento más del



organismo denominado vivienda, donde influir negativa o positivamente repercute proporcionalmente en la misma medida al interior y al exterior; y es el usuario quien toma el control para decidir la forma interactúa con su medio.

En base a esto, se deduce la importancia de el habitante comprenda la forma general en que el sistema de calefacción solar por aire funciona, para que en base a ello le sea fácil tomar decisiones respecto a cerrar o abrir puertas, ventanas y/o difusores. Para este fin, el proyectista deberá estar obligado a realizar la llamada transferencia tecnológica al usuario. Para que la transferencia de tecnología se lleva a cabo, se necesita de dos actores principales; uno que desarrolla la tecnología (diseñador del SCSA) y un actor que se apropie de la tecnología (usuario del SCSA); pero para que tenga éxito, la transferencia debe estar alejada de la imposición tecnológica, evitando una dependencia del usuario hacia aquél que posee los conocimientos o diseñador del SCSA. Para evitar esta imposición tecnológica será requisito indispensable transferir conocimientos básicos que doten al usuario de la capacidad del manejo para obtener resultados permanentes.

Por otro lado, considero que un sistema de calefacción solar por aire debe ser expresado en el edificio al contrario de mimetizarse u ocultarse. Un sistema de este tipo que representa el uso de energías renovables debe ser una de las expresiones básicas del edificio representado la época actual que se vive carente de energías fósiles, de una nueva conciencia ambiental, de la tendencia natural para habitar espacios; reflejando de esta manera que el edificio está respondiendo a las necesidades del usuario y manifestando así la certeza y validez con que se proyectó o intervino el inmueble. Y quien sino el arquitecto para crear objetos arquitectónicos que reflejen no sólo estética y funcionalidad, sino también tecnología, o por que no, una estética tecnológica.

¿Pero cómo va a lograr esto el arquitecto si carece de conocimientos científicos que le permitan crear maravillas arquitectónicas modernas? En primer lugar, su trabajo profesional no puede estar deparado de otros campos y por tanto debe ser interdisciplinario, pero además debe de adquirir conocimientos científicos básicos de física como electricidad, mecánica, estática o termodinámica para comprender un edificio en su parte natural, en su parte esencial y no tan solo desde el punto de vista bello y apartado de los motivos reales de una construcción.

Una vez que el arquitecto posea este saber, será capaz de crear edificaciones no solo bellas sino que tecnológicamente sean asombrosas, porque no incorporaran como elemento extra equipos tecnológicos sino porque el conjunto de elementos conformaran un todo, es decir, el edificio mismo será tecnología. Un arquitecto que sepa termodinámica básica y que se interese por este documento, al final sabrá que al poder control el suministro de aire que se calienta gracias a la energía limpia, gratuita e inagotable del Sol, no solo estará incluyendo elementos como parte de una estrategia para climatizar en la época fría del año, así mismo, al incluir mecanismos de control, distribución y extracción, estará dotando al inmueble de una estrategia para extraer el aire caliente y servir en la época calurosa del año. Una doble estrategia como esta, solo puede ser comprendida por un arquitecto que comprenda la importancia de la belleza, de la ciencia y de la tecnología. Pero esta finísima línea que crea grandes propuestas arquitectónicas se debe que el arquitecto toma el papel también de tecnólogo; y se origina la maravilla de saber y tener el poder de aplicar.



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ANDER, GREGG D. *Daylighting Performance and Design*. Chapter 3: Glazing Properties. ISBN: 978-0-471-26299-2. Mayo, 2003.
- BEHLING, Sophia y Stefan. *Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible*. READ. GG. Barcelona, 2002.
- BLESA, Ramón. *Conocimientos fundamentales sobre climatización*. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1994.
- BRICOLAJE Y REPARACIONES. *Climatización*. (ref. 29 de julio de 2007). Calefacción por energía solar térmica. Disponible en web: <http://www.otrascosas.com/brico/article.asp?id=119>
- CIMADEVILLA, Gustavo. *Difusión de innovaciones ambientales*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina.
- CONAE. Normas Oficiales Mexicanas. (ref. 11 de octubre de 2008). Disponible en web: [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_22\\_normas\\_oficiales\\_mex](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_22_normas_oficiales_mex)
- CROISSET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios*. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.
- DANIELS, Farrington. *Uso directo de la energía solar*. H.Blume ediciones. Yale University Press, Londres 1964.
- Energía solar térmica. Proyecto RES & RUE Dissemination.
- CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). San Sebastián, España. 1982.
- HUENCHUÑIR, Marcelo. *Sistemas de fachada con aislación térmica transparente*. Revista BIT. NO.25 Marzo, 2002.
- SELKOWITZ, S.. *Tips for daylighting with windows*. Glazing properties. California Institute for Energy Efficiency (CIEE), Universidad de California, EUA. 1997.
- ENCICLOPEDIA SALVAT. Ciencia y Tecnología. *Calefacción*. Tomo II. Mc Graw-Hill, Inc.Barcelona, España. 1968.
- ENERGÍA NATURAL. *Secadores solares por aire caliente para granos y hortalizas*. (ref. octubre 7 de 1007) Información general. Disponible en web: <http://www.energianatural.com.ar/cs-ac03.html>
- FAGGEMBAU, Débora. *Heat transfer and fluid dynamics in double and single skin facades*. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006.
- FIERNOVA. *Energía térmica*. (ref. 16 de mayo de 2007). Radiación solar. Geometría solar. Disponible en web: [http://www.fiernova.com/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95](http://www.fiernova.com/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95).
- ITESO. *Calefacción solar*. (ref. 9 de junio de 2007). Calefacción solar por aportes pasivos. Disponible en web: <http://iteso.mx/~ar47331/calefaccion.htm>
- DOE. *Solar heating and you*. (ref. junio 27 de 2007). Documento producido por el Departamento de Energía (DOE) de los E.U.A. y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) utilizando información técnica. DOE/CH10093-272 FS 118. Agosto de 1994.
- KORNHER, et. al. *Solar air heating systems*. Rodale P, EUA. Junio, 1984.
- LEWIS, Owen. *Energy in Architecture*. The European Passive Solar handbook. Chrysalis. 1992



calefacción solar por aire



- McQUINSTON, et al. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Ed. Limusa Wiley. Méx, 2007.
- Noticias PSA. (ref. mayo2008) *Chubut: un congreso, la vivienda bioclimática y la concepción socioterritorial del PSA*. Publicación mensual del Programa Social Agropecuario. No.3 Enero del 2007. Rep. Argentina. Disponible en web: [http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/prensa/newsletter\\_psa/notpsa3ene07.htm](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/prensa/newsletter_psa/notpsa3ene07.htm)
- OLGAY, Victor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Princeton University Press, 1963. GG. Barcelona, España. 1998.
- PRO COBRE. El colector solar de placa plana. (ref. octubre 7 de 2007) Disponible en web: [http://www.procobre.com/procobre/aplicaciones\\_del\\_cobre/energia\\_solar\\_detalle1.html](http://www.procobre.com/procobre/aplicaciones_del_cobre/energia_solar_detalle1.html)
- ROAF, Sue et.al. *Ecohouse. A Design Guide*. Architectural Press. England 2002.
- ROMDHANE, Ben Slama. *The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer*. Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie, 6029 Gabes, Tunisia. Publicado por science direct Solar Energy 81 (2007) 139–149
- SEIFERT, Richard. *The attached greenhouse*. University of Alaska Fairbanks. Nov. 2006.
- SITIOSOLAR. *La calefacción solar por colectores de aire*. (ref. 07 de octubre de 2007 en web: <http://www.sitiosolar.com/calefaccion%20solar%20por%20colectores%20de%20aire.htm#comparación>
- SOLAR ENERGY IRELAND. *Solar air heating systems*. (ref. 19 de agosto de 2007). Disponible en web: [http://www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)
- TEXTOSCIENTIFICOS.COM. *Energía solar*. (ref. 29 de julio de 2007). Calefacción solar como medio de bienestar. Disponible en web: <http://www.textoscientificos.com/energia/solar>
- VASQUEZ, Claudio. *El vidrio. Arquitectura y técnica*. Ediciones ARQ. Santiago, Chile. 2006.
- VASQUEZ Espí, Mariano. *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. (resumen de la obra Un hilo dorado de Butti & Perlin, 1980). España, 1999.
- WHITMAN, William. *Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado*. Cengage Learning Editores. 2000.

# **APÉNDICE**

## **APÉNDICE**

### **A. ENERGÍA**

- A.1. Energía radiante y energía térmica
- A.2. Calor
- A.3. Transferencia de calor
- A.4. Capacidad calorífica e inercia térmica
- A.5. Masa térmica y aislamiento

### **B. ENERGÍA SOLAR**

- B.1. Radiación solar
- B.2. Constante solar
- B.3. Distribución de la radiación solar
- B.4. Geometría solar
- B.5. Sistema de coordenadas

### **C. ENERGÍA SOLAR Y CLIMA**

- C.1. Sistema energético terrestre
- C.2. Ciclo energético y sol
- C.3. Zonas climáticas
- C.4. Adaptación al clima

### **D. CLIMA Y CONFORT TÉRMICO**

- D.1. Temperatura corporal humana
- D.2. Confort térmico
- D.3. Nivel metabólico met
- D.4. Nivel de ropa clo
- D.5. Parámetros ambientales
- D.6. Evaluación y medición térmica

### **E. CALEFACCIÓN**

- E.1. Sistemas de aire
- E.2. Sistemas de agua
- E.3. Sistemas de vapor
- E.4. Sistemas de gas
- E.5. Sistemas eléctricos
- E.6. Sistemas solares

# A. Energía

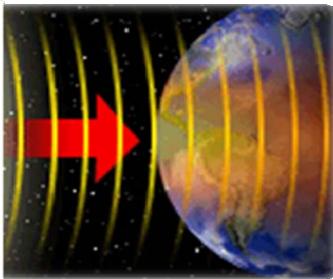
## A.1. ENERGÍA RADIANTE Y TÉRMICA

La historia del hombre ha sido en parte la historia de sus intentos por captar la energía. Poco a poco, a lo largo de la historia los trabajos más duros fueron arrancados de las espaldas humanas, se delegaron a los animales y posteriormente se adjudicaron a las incansables máquinas; el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía dejó a los hombres en libertad para dedicarse a las tareas de la mente. Sin embargo, pocas personas se dan cuenta de que el alto nivel de bienestar alcanzado actualmente por la humanidad, es una consecuencia de la creciente cantidad de energía de la que el hombre dispone; y menos personas tienen la conciencia de que esa energía puede llegar a faltar. La función indiscutible de la energía es obvia: la vida misma es una manifestación de la energía.



*Del fuego a la energía nuclear*  
Dr. Juan Luis Francois Lacouture  
Grupo Ingeniería Nuclear  
UNAM

La energía es la capacidad que poseen los cuerpos para realizar un trabajo, por lo tanto existe una relación entre energía y trabajo, y a medida que se va realizando un trabajo va disminuyendo la capacidad de realizarlo; por eso existe un enunciado clásico de la física newtoniana que afirma que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Todos los cuerpos, pueden poseer energía debido a su movimiento, composición química, posición, temperatura, masa y a algunas otras propiedades. Particularmente por el objeto de estudio nos interesa en el campo del electromagnetismo la *energía radiante* y en el campo de la termodinámica la *energía térmica*.

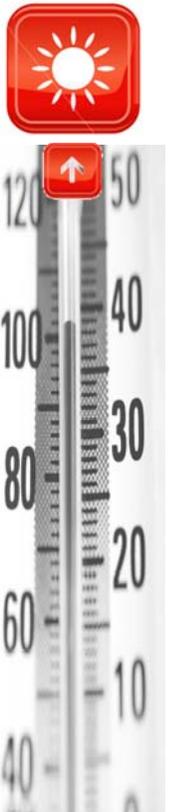


*Radiación solar.* La atmósfera: una capa invisible. Geociencias. UNAM

La forma en que nosotros recibimos la energía del sol es en forma de radiación, y la propagación se realiza en forma de ondas electromagnéticas en el vacío; cuando la energía radiante emitida por un cuerpo llega a otro, es absorbida por este y se incrementa su temperatura. Se ha observado que la facultad de absorber este tipo de energía es mayor en aquellos cuerpos, que a su vez, al ser calentados, son capaces de emitir una gran cantidad de energía, pudiendo ser ésta energía térmica que es aquella liberada en forma de *calor*.

## A.2. CALOR

Toda la materia está formada por moléculas que nunca están en reposo (chocan entre sí, vibran, gira, etc.). En todos estos movimientos se pone en juego una cierta cantidad de energía, es decir, cuanto mayor sea el movimiento o agitación de las moléculas de un cuerpo, mayor será la energía que éstas poseen. Cuando calentamos un cuerpo se



*Calentamiento solar por aire*

produce un movimiento de vibración más rápido de las moléculas que lo componen; un cuerpo está caliente cuando sus moléculas vibran rápidamente, y está frío cuando sus moléculas vibran más despacio. Las ideas sobre el calor parten de la sensación fisiológica de calor o de frío que experimentamos; por lo que la sensación fisiológica de calor conduce con frecuencia a conclusiones totalmente erróneas, por lo que es necesario el uso de una magnitud que cuantifique: la temperatura.

La temperatura es la aptitud de un cuerpo a ceder o adquirir calor (Q). Depende de la velocidad de las moléculas y no de su masa; si un cuerpo recibe calor, su temperatura aumenta, y si lo pierde, su temperatura disminuye. Con esto sabemos que no existe el fenómeno de frío, sino solo la sensación del mismo por ausencia de calor, y sucede cuando dos cuerpos de diferentes temperaturas se ponen en contacto y el de mayor temperatura (más caliente) le cede calor al de menor temperatura (más frío); de tal forma que dos cuerpos de distinta temperatura puestos en contacto, alcanzan la misma temperatura llamándosele a esto *equilibrio térmico*,  $Q_1 + Q_2 = 0$ . Así, un cuerpo de masa  $m_1$  y calor específico  $c_1$  que se encuentra a la temperatura  $t_1$  se pone en contacto con otro de masa  $m_2$ , calor específico  $c_2$  y temperatura  $t_2$  se alcanza una temperatura de equilibrio  $t_e$ , intermedia entre  $t_1$  y  $t_2$ , expresada en la fórmula siguiente:

$$m_1 c_1 (t_e - t_1) + m_2 c_2 (t_e - t_2) = 0$$

Calor latente (L): Cantidad de calorías absorbidas por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización). Es la energía térmica Q necesaria para que 1 kg de una sustancia cambie de un estado de agregación a otro y que es proporcional a la masa m de la sustancia, expresado en J·kg:  $Q = m \cdot L$

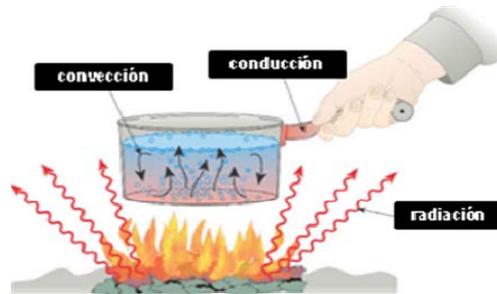
Calor sensible: Cantidad de calorías necesarias para la elevación de la temperatura de un cuerpo sin modificación de su estado y transmitido por conducción o convección; es también la forma de calor que evocamos al hablar de temperatura ambiente.  $Q_s = L C_p (t_1 - t_2)$

Calor por radiación: Cantidad de calorías que transporta una radiación de una cierta longitud de onda transmitida por un material emisor a un material receptor; este calor corresponde a la elevación de temperatura del cuerpo sometido a la radiación.

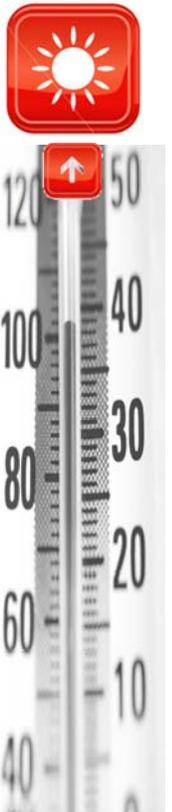
### A.3. TRANSFERENCIA DE CALOR

En virtud del hecho denominado equilibrio térmico, esta igualación o nivelación, está efectuada por una “comunicación” o transmisión de temperatura, y tiene tres formas principales.

1. Conducción. El calor se transmite a través de la masa del propio cuerpo; es entonces un



Mechanisms heat transfer. The earth's atmosphere. [www.geographv.hunter.cuny.edu](http://www.geographv.hunter.cuny.edu)



Calefacción solar por aire

transporte de energía a través de las moléculas en vibración de cuerpos sólidos sin flujo de materia. La facilidad con que el calor "viaja" a través de un material lo define como conductor o como aislante térmico.

2.Convección. En un material fluido (en estado líquido o gaseoso), el calor, puede ser transmitido por el propio movimiento del fluido. Si el movimiento del fluido se produce de forma natural, por la diferencia de temperaturas (aire caliente sube, aire frío baja), la convección es natural. Las corrientes formadas por efecto de la diferencia de temperatura se llaman corrientes convectivas.

3.Radiación. Todo material emite radiación electromagnética, cuya intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. Es un transporte de energía que no necesita propagarse por ningún soporte material, por lo que puede propagarse en el vacío es por eso que el sol nos puede aportar energía por radiación.

#### A.4.CAPACIDAD CALORÍFICA E INERCIA TÉRMICA

Si a un cuerpo le aportamos calor en cualquiera de las tres formas de transmisión de calor, este eleva su temperatura. Si lo hace lentamente decimos que tiene mucha *capacidad calorífica*, puesto que es capaz de almacenar mucho calor por cada grado centígrado de temperatura.

Se llama calor específico de un material (en Kcal/Kg°C) a la cantidad de calor que hay que suministrarle a 1 Kg para que eleve su temperatura 1°C, por lo que la unidad principal es la caloría, unidad que ha sido sustituida por la medida internacional joule (j) que equivale a 1 watt por segundo. Entonces la cantidad de calor que debemos suministrar, capacidad calorífica  $c$ , a un cuerpo de  $m$  gramos de masa par aumentar su temperatura  $\Delta t^{\circ} C$  será:

$$Q = cm \cdot \Delta t$$

La "resistencia" de la temperatura a reaccionar inmediatamente a los aportes de calor es lo que llamamos *inercia térmica*. Si un cuerpo cuenta con gran inercia térmica, la radiación solar no provocará una subida rápida de la temperatura, porque el calor se está almacenando, y posteriormente se libera lentamente por la noche, por lo que no se producirá una disminución brusca de temperatura; además, las variaciones de temperatura se amortiguan, no alcanzando valores tan extremos. Entonces, la inercia térmica lleva implícito dos fenómenos: el de *retardo* de la temperatura interior respecto a la temperatura exterior, y el de *amortiguación* cuando la variación interior de temperatura no es tan grande como la variación exterior.

#### A.5.MASA TÉRMICA Y AISLAMIENTO

La *masa térmica* provoca un desfase entre los aportes de calor y el incremento de la temperatura. Un cuerpo con elevada masa térmica se comporta manteniendo una temperatura sin variaciones bruscas, relativamente estable frente a las condiciones externas.



Calefacción solar por aire



Aislamiento térmico en ventana.  
www.ventanaplus.com

El *aislamiento térmico* dificulta el paso de calor por conducción del interior al exterior de los cuerpos y viceversa. Es entonces la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica, o lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en  $m^2.K/W$  (metro cuadrado y kelvin por vatio). La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica. Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos.

Cuando se produce un “agujero” en el aislamiento producido por un material buen conductor o un agujero físico, se habla de un *punto térmico*, que es una zona por donde puede pasar más fácilmente el calor en una zona aislada del calor. Para evitar esta fuga se usa lo que se denomina *rotura de punto térmico*, la cual consiste en evitar que la cara interior y exterior tengan contacto entre sí, intercalando un mal conductor, con lo que se reducen mucho las pérdidas de energía.

## B. Energía solar

### B.1. RADIACIÓN SOLAR

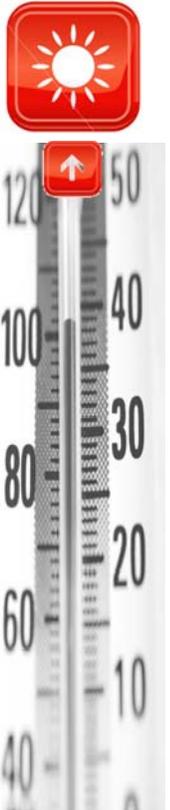
El sol, es la fuente de casi toda energía en la Tierra, es una bola enorme de gas que contiene el 99.9% de la masa del sistema solar. La radiación solar es la única energía recibida por la Tierra y su envoltura atmosférica reciben constantemente una radiación solar de 173 billones de kilowatts; de esta energía recibida, una parte (el 77%) se pierde por reflexión y por radiación, y el resto (un 23%) provoca una serie de fenómenos mecánicos reunidos comúnmente bajo el vocablo griego *klima*, así como fenómenos químicos como la fotosíntesis. Aproximadamente el 49% de la radiación solar se percibe en forma de luz, mientras que un cantidad similar se emite en la zona del infrarrojo que percibimos como calor, el resto es radiación de rayos ultravioleta y rayos gamma;



Clasificación por porcentaje de rayos solares.

de ahí que poco a poco hemos ido tomando conciencia de que hay una energía que está por todos lados y que nos ofrece una fuente limpia e inagotable. Es por eso que el sol es una fuente natural de energía que proporciona luz y calor, modula el clima e impulsa los grandes ciclos que determina la vida en nuestro planeta.

La energía emitida por el Sol, cuya emisión tiene lugar a través el fenómeno físico denominado *radiación*, se propaga en todas las direcciones del espacio sin soporte material. Una pequeña parte de esa energía ( $1,350 w/m^2$ ) llega a la superficie terrestre bajo la forma de ondas electromagnéticas y no es hasta que es absorbida por la tierra o el



Calentamiento solar por aire

agua y emitida como rayos infrarrojos que se percibe como calor. Pero la energía que llega al suelo depende de el espesor de las capas de aire que tiene que atravesar la radiación, (altura del Sol sobre el horizonte), cuanto más bajo está el Sol sobre el horizonte, mayor es la capa de aire que ha de atravesar los rayos y menor la energía que llega al suelo, ya que los diversos componentes de la atmósfera eliminan buena parte de la energía solar pero la parte que logra atravesar sin sufrir cambio alguno de dirección y provocan sombras, son los *rayos directos*; mientras que los rayos que sufren cambio de dirección se les denomina dispersión o *rayo difuso*.

### B.2.CONSTANTE SOLAR

Una medida de la energía procedente del Sol la constituye la *constante solar*. La intensidad de la radiación solar antes de entrar en la atmósfera, al llegar a los límites más altos de ésta muestra variaciones pero el valor que se admite actualmente es de :  $I=1354 \text{ W/m}^2$  ( $1.94 \text{ kcal/cm}^2 = 8.12 \text{ J/cm}^2/\text{min}$ ). La absorción atmosférica reduce ésta intensidad en una medida que depende parcialmente de la longitud de recorrido a través de la atmósfera y parcialmente del estado de la masa de aire. A fin de especificar la radiación solar incidente en la superficie de la Tierra definiremos los siguientes conceptos:

**Irradiancia:** Es la potencia incidente por unidad de superficie, medida en  $\text{W/m}^2$  (valor medio en una hora)

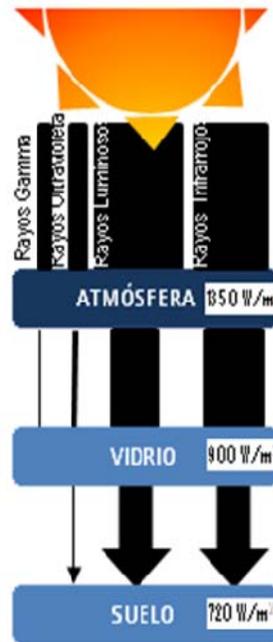
**Irradiación:** Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en  $\text{J/m}^2$ . (aunque la irradiancia y la irradiación son magnitudes físicas distintas, coinciden numéricamente cuando la unidad de tiempo es la hora).

A.Extraatmosférica: Fuera de la atmósfera.

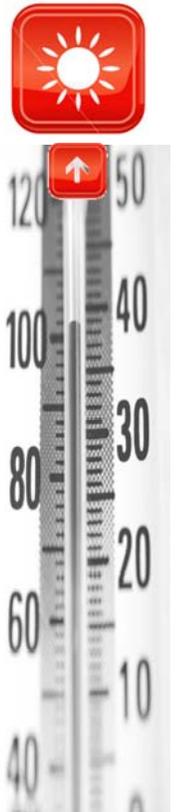
B. Radiación directa: Corresponde al ángulo sólido limitado por el disco solar sin tener en cuenta la dispersión atmosférica.

C. Radiación difusa: Procede de la atmósfera, y es consecuencia de la reflexión, difracción, dispersión y absorción.

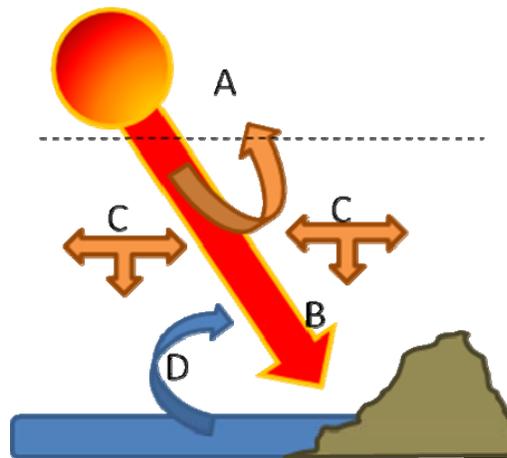
D. Radiación reflejada: Es la radiación reflejada por el suelo (albedo)



Filtración de la radiación solar



Calefacción solar por aire



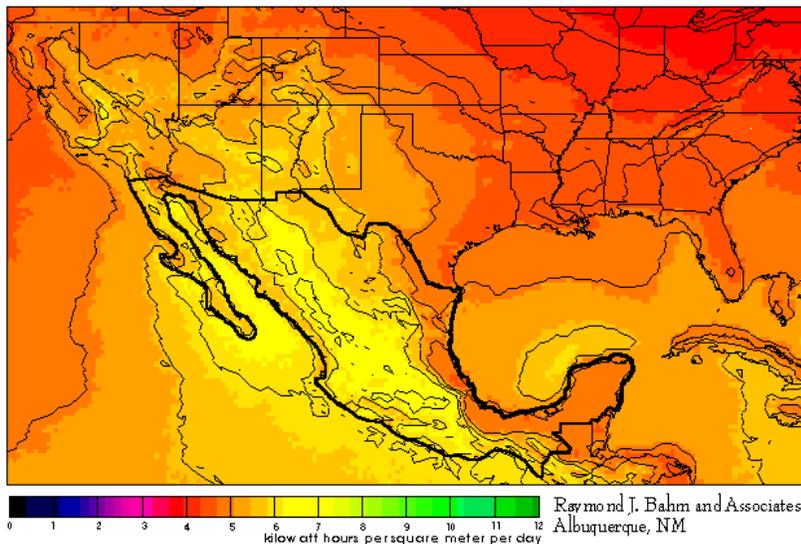
Clasificación de la radiación solar.L.M.F.

E. Radiación total: Suma de radiación directa, difusa y reflejada.

Radiación global: Suma de radiación directa y difusa respecto a un plano horizontal.

### B.3.DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

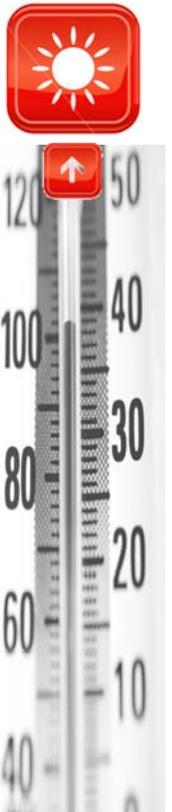
En la superficie terrestre, en un plano horizontal, un día claro al mediodía la irradiancia alcanza un valor máximo de unos  $1000 \text{ W/m}^2$ . Este valor depende del lugar y, sobre todo, de la nubosidad; así como de la contaminación del aire y efectos meteorológicos. Si se suma toda la radiación global que incide sobre un lugar determinado en un periodo de tiempo definido (hora, día, mes, año) se obtiene la energía en  $\text{kWh/m}^2$  (o en  $\text{MJ/m}^2$ ). La potencia radiante de  $1367 \text{ W/m}^2$  que llega al planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre, puesto que la atmósfera terrestre atenúa la radiación solar debido a la reflexión, absorción y difusión que los componentes atmosféricos (moléculas de aire, ozono, vapor de agua,  $\text{CO}_2$ , aerosoles, etc.) producen sobre la radiación solar. Las diferentes reacciones que se producen ante la radiación son las siguientes:



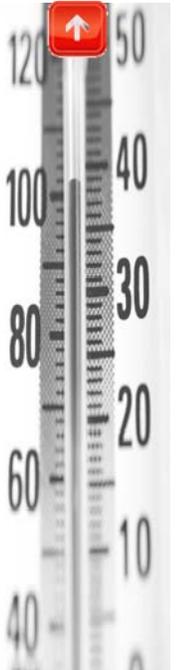
**Absorción:** Proceso que depende de la facultad de un material para absorber una parte o la totalidad de la radiación solar. Se caracteriza por una relación entre el flujo absorbido y el flujo recibido, relación que por lo general es inferior a uno.

**Reflexión:** Proceso que permite a un material reflejar una parte de la radiación en la misma longitud de onda que la radiación incidente. Ésta relación es complementaria del factor de absorción y la suma de ambos valores es igual a uno.

**Emisión:** Todo material es capaz, igual que el Sol, de emitir una radiación particular teniendo en cuenta su naturaleza y temperatura propias, y ésta emisión se caracteriza por un factor que relaciona la emisión de un cuerpo negro perfecto con la del cuerpo en cuestión. Este factor es siempre inferior a uno.

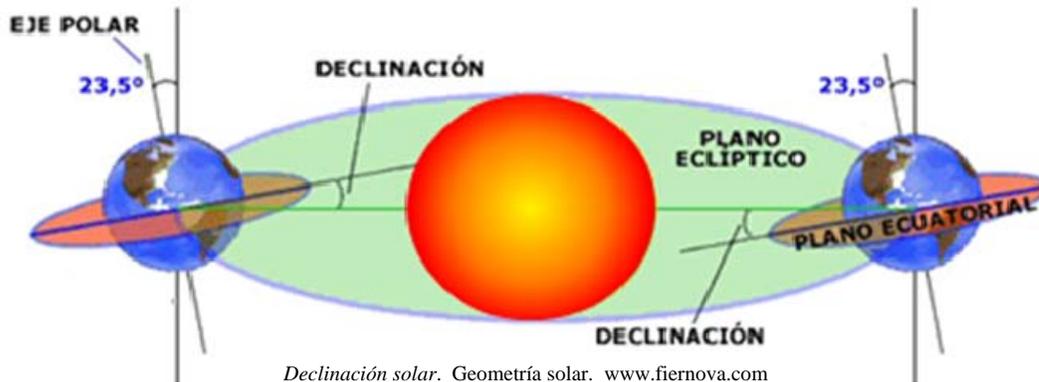


*Calentamiento solar por aire*



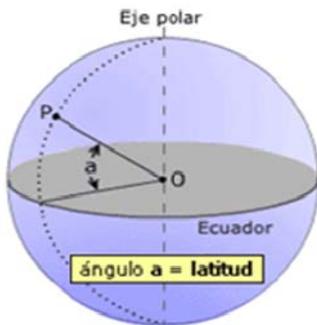
### B.4.GEOMETRÍA SOLAR

Cuando se analiza el movimiento de rotación y translación de la Tierra, se encuentra que su eje de rotación, con respecto al plano de translación alrededor del Sol, tiene una inclinación fija de aproximadamente  $23,45^\circ$ . El ángulo formado entre el plano ecuatorial de la tierra y la línea Tierra-Sol se denomina declinación solar. Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol el valor de este ángulo varía entre  $-23,45^\circ$ , cuando el Sol se encuentra en la parte más baja del hemisferio sur (solsticio de invierno 21/22 de diciembre), y  $+23,45^\circ$ , cuando se halla en la parte más alta del hemisferio norte (solsticio de verano 21/22 de junio). Dos veces durante el año toma valor cero, cuando el Sol pasa sobre el Ecuador terrestre, durante los equinoccios.



Declinación solar. Geometría solar. www.fiernova.com

### B.5.SISTEMA DE COORDENADAS

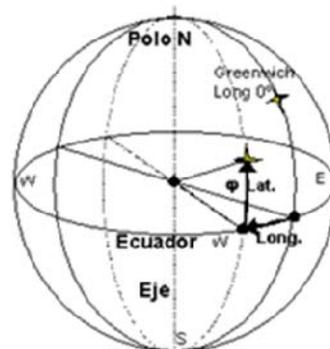


Latitud de un punto P. Geometría solar. www.fiernova.com

En el sistema de coordenadas celestes horizontales se determina la posición del Sol en cualquier época del año por medio de los siguientes ángulos:

Latitud del lugar: Posición angular hacia el norte o hacia el sur del Ecuador.  $\Phi$  es positivo en el hemisferio norte (norte:  $0^\circ < \Phi < 90^\circ$ ) y negativo en el hemisferio sur (sur:  $-90^\circ < \Phi < 0^\circ$ ).

Longitud: Angulo que forma el meridiano del lugar con el meridiano  $0^\circ$  de referencia que pasa por Greenwich (Londres). Es de interés para calcular el mediodía local (instante en que el sol tiene la altura máxima) a partir de la hora solar media, común para un uso horario de  $15^\circ$  de ancho ( $360^\circ / 24 \text{ horas} = 15^\circ/\text{hora}$ ).



Longitud. Geometría solar. www.fiernova.com

Calificación solar por aire

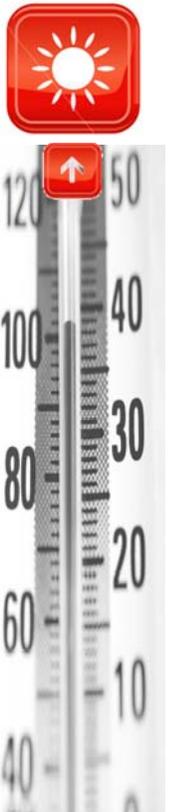
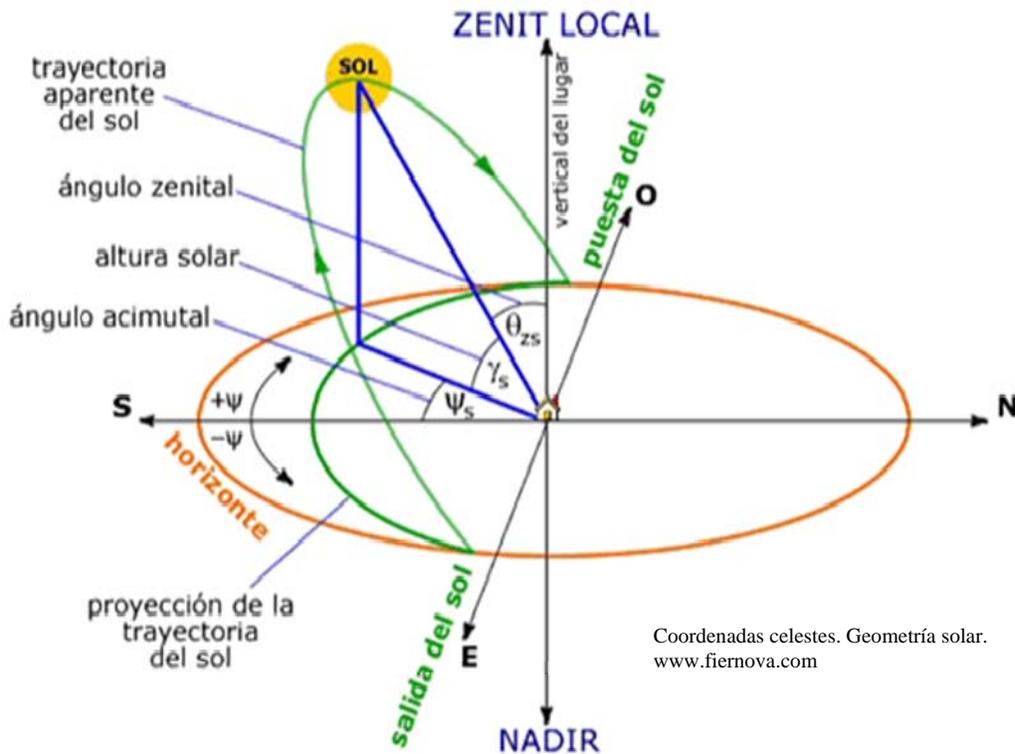
Los puntos singulares de la bóveda o hemisferio celeste serían el punto más alto o cenit (*nadir* sería el punto opuesto), y el plano del horizonte con las orientaciones principales (N, S, E y W). Las coordenadas celestes permiten localizar cualquier punto del hemisferio por su Altura (A) sobre el horizonte y su Azimut (Z) o desviación al este u oeste del Sur:

$\delta$  Declinación solar: Posición angular del sol al mediodía con respecto al plano del Ecuador. Es positivo en el hemisferio norte y varía entre  $-23.45^\circ$  y  $+23.45^\circ$ .

$\alpha$  Altura solar.

Llamamos altura solar al ángulo que forma el plano horizontal y la línea imaginaria que pasa por el centro del sol y el ojo del observado.

$\omega$  Angulo horario: Es el ángulo formado en el polo por la intersección entre el meridiano del observador y el meridiano del Sol; se expresa en unidades de arco (grados) o en unidades de tiempo (horas); su conversión es: 1 hora =  $15^\circ$ .



*Calentamiento solar por aire*

# C. Energía solar y clima

## C.1. SISTEMA ENERGÉTICO TERRESTRE

Nuestro planeta puede considerarse un sistema con cinco componentes diferentes: la atmósfera (aire), la hidrósfera (agua), la criósfera (hielo), la litósfera (sólidos) y la biosfera (seres vivos), como ejemplo las ilustraciones siguientes en orden. Estas partes están interrelacionadas por el flujo de materia y energía.



Atmósfera – Hidrósfera – Criósfera – Litósfera – Biosfera

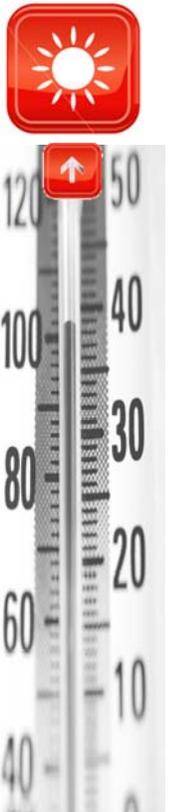
*Sistema Terrestre. Buckley, Bruce. Et. Al. Meteorología. Libros Cupula. Barcelona, España. 2004.*

El flujo de energía comienza con la recepción de los rayos solares que calientan al planeta y termina con la emisión de energía hacia el espacio que evita que la Tierra se sobrecaliente. La energía solar provoca movimientos en el fluido de la atmósfera y la hidrósfera. Parte de ésta energía se destina al ciclo del agua, en la que ésta cambia su estado, pasando a sólido, líquido o gaseoso en su recorrido por los diferentes componentes del sistema de la Tierra. Todos los materiales de la superficie terrestre restituyen continuamente el calor que han recibido durante una parte del día; al no calentarse a la misma velocidad y al no tener la misma inercia térmica, los materiales en un momento dado, tienen temperaturas diferentes e intercambian calor entre sí, ya sea por radiación, conducción o convección.

Todos los fenómenos termodinámicos vinculados a la alternancia de los días y de las noches y al ciclo astronómico anual engendran cierto número de modificaciones en el seno de la atmósfera: movimientos, calentamientos, condensación, transformaciones energéticas en general. En una región determinada, los fenómenos meteorológicos que caracterizan al tiempo (nubes, lluvia, nieve, tempestad) se derivan en la circulación general de la atmósfera y de los cambios regulados por el equilibrio energético del planeta. Los principales elementos que constituyen el tiempo en un lugar determinado, observados durante un periodo de varios años consecutivos, muestran unas constantes que se repiten con regularidad, es la definición misma de clima.

## C.2. CICLO ENERGÉTICO Y SOL

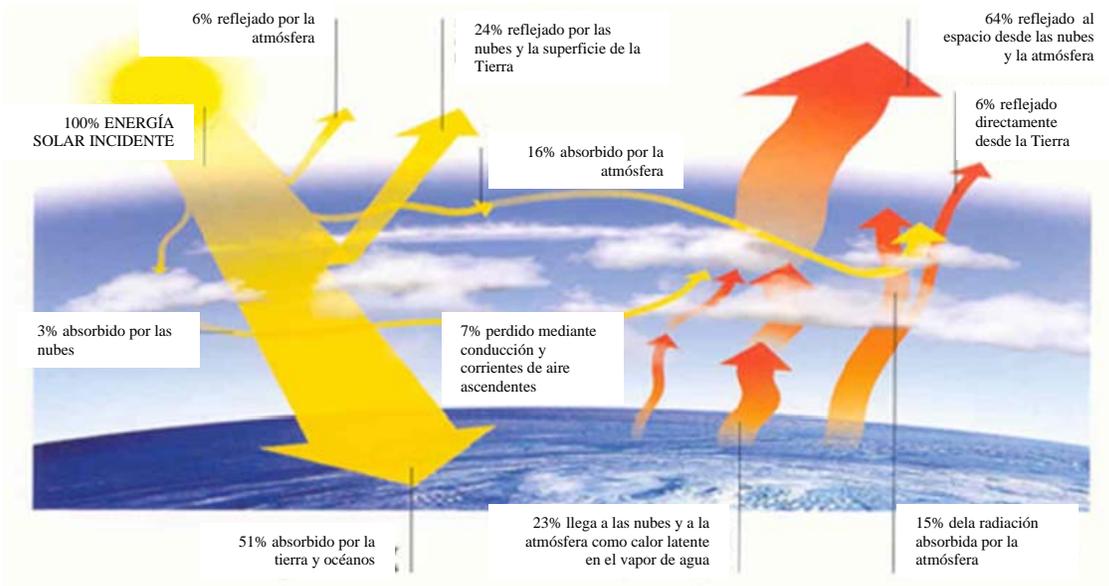
El sol es la fuente de energía que hace posible los movimientos de la atmósfera y que produce la temperatura necesaria para la vida. Después de que la radiación solar –energía– penetre en la atmósfera terrestre, tienen lugar una serie de complejos fenómenos que juntos crean un medio de temperatura estable. La superficie de la Tierra absorbe y refleja la energía solar, como también hacen los gases de la atmósfera y las nubes; por lo que parte de esta energía regresa al espacio. En la superficie de la Tierra la mayor parte de la



*Calentamiento solar por aire*

energía solar se dedica a la evaporación del agua, que más tarde se libera en la atmósfera cuando el vapor de aire se condensa en gotitas o queda depositado en forma de hielo, para más adelante formar nubes. Las nubes reflejan y absorben parte de la radiación solar y absorben también la radiación emitida por la Tierra en forma de radiación infrarroja. Este ciclo constante de la energía es la génesis del tiempo. El equilibrio entre la energía que se recibe y la que se emite tiene como consecuencia la *estabilidad térmica*.

El ciclo diario de calentamiento y enfriamiento de la superficie terrestre tiene notables efectos sobre el tiempo ya que a medida que la superficie se calienta, se van formando corrientes ascendentes de aire caliente y el aire más bajo se vuelve turbulento; esto hace que los vientos más fuertes de las capas bajas de la atmósfera desciendan a la superficie; ya que durante la noche la superficie terrestre se enfría rápidamente y pueden producirse inversiones de temperatura, lo que hace que los vientos por debajo de la inversión se vuelvan ligeros y variables y poco después del amanecer el proceso de calentamiento comienza de nuevo.



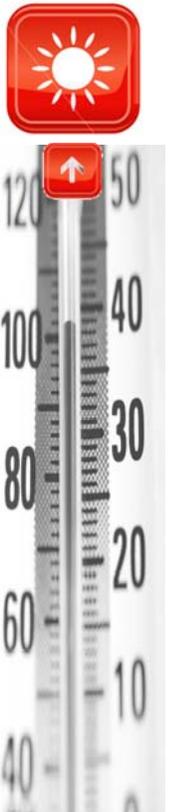
Proceso que sigue la energía solar desde que entra en la atmósfera hasta que la abandona. *Sistema Terrestre*. Buckley, Bruce. Et. Al. Meteorología. Libros Cupula. Barcelona, España. 2004.

### C.3.ZONAS CLIMÁTICAS

El clima de una localidad depende de la latitud y altitud, de la distancia a grandes masa de agua y cadenas montañosas, y también de su relación con las corrientes atmosféricas globales. Mientras que la clasificación climatológica aceptada generalmente proporciona una visión amplia del clima mundial, en algunas zonas se dan alteraciones que responden a modelos climatológicos locales. Una clasificación general del clima que bien puede adaptarse a distintas latitudes es la que se cita en los anexos de este documentos como zonas climáticas.

Para definir un clima hay que tener en cuenta varios parámetros:

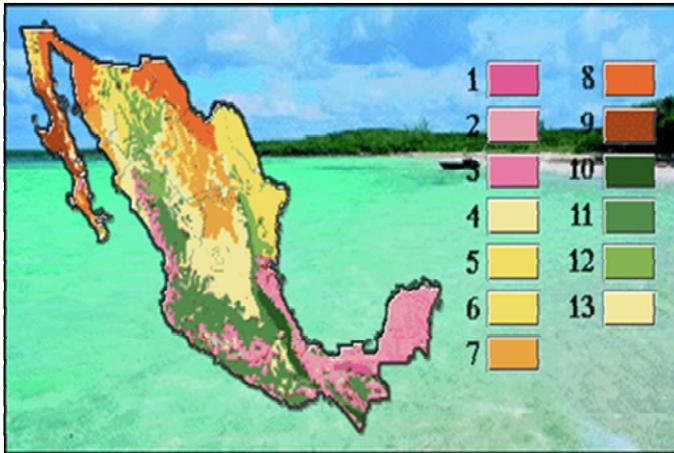
- La presión atmosférica, que depende directamente de la altitud y cuyas variaciones son las que originan el viento.



Calefacción solar por aire

- El viento, que se caracteriza por su dirección, su velocidad y las turbulencias vinculadas a la rugosidad del suelo.
- Las temperaturas del aire, medias que intervienen en la evaporación, la radiación y los movimientos de masas de aire.
- La humedad del aire (contenido de vapor de agua) que influye sobre la radiación de la atmósfera, relacionada con precipitaciones y evaporación.
- Las brumas y nieblas (visibilidad) que intervienen en la transmisión de la radiación visible.
- La radiación solar (directa, difusa, global).

El clima, a su vez, configura la gran diversidad de la vida terrestre, ya que las plantas y los animales incluidos los humanos, evolucionan para adaptarse a las diversas condiciones climáticas.



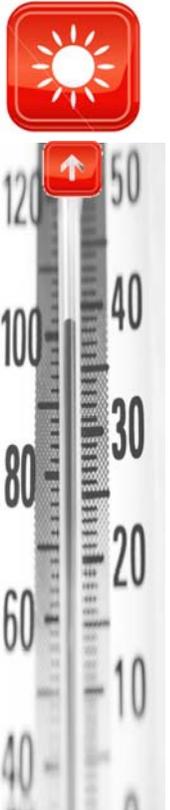
1. Cálido húmedo. Lluvias todo el año.
2. C árido húmedo. Lluvias todo el año, con inviernos menos lluviosos.
3. C árido subhúmedo. Lluvias en verano.
4. E stepario. Lluvias en verano.
5. E stepario. Lluvias poco abundantes en todas las estaciones.
6. E stepario. Lluvias en invierno.
7. D esértico. Lluvias en verano.
8. D esértico. Lluvias poco abundantes en todas las estaciones.
9. D esértico. Lluvias en invierno.
- 10 T emplado húmedo. Lluvias todo el año.
- 11 T emplado húmedo. Lluvias en verano.
- 12 T emplado subhúmedo. Lluvias en todas las estaciones.
- 13 T emplado húmedo. Lluvias en invierno.

Clasificación de climas en México. Capítulo 4: La atmósfera: una capa invisible. [www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html](http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html)

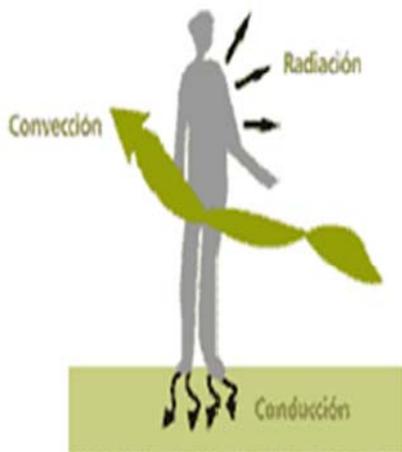
#### C.4.ADAPTACIÓN AL CLIMA

Todos los seres vivos realizan continuamente intercambio de energía con el entorno, todos viven en un ambiente térmico. La fuente primaria, como sabemos, proviene de la radiación solar. La energía solar es captada o liberada mediante los diferentes procesos metabólicos que realizan.

Una de las formas mediante las cuales los organismos liberan calor al exterior y, regulan su temperatura interna, es la *evaporación*, mediante la cual los seres vivos son capaces de liberar calor para mantener en condiciones óptimas, ésta depende de la diferencia de presión de vapor entre el aire circundante y el objeto u organismo. Si la humedad ambiental es abundante, hay poca evaporación y, poca disipación de calor por este medio; cuando el ambiente es seco, aumenta la tasa de evaporación y con ella la disipación de calor.



Calefacción solar por aire



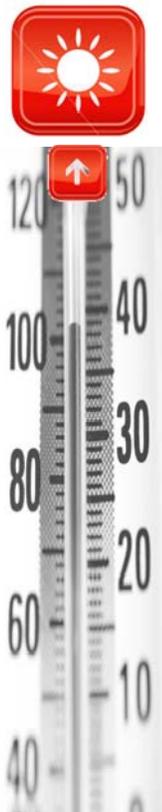
*Intercambio de calor del cuerpo humano. Confort y clima. Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico. Venezuela, 2007.*

Otro proceso de transmisión de calor es la *conducción* que ocurre entre dos cuerpos sólidos, fluyendo del más caliente al más frío; la velocidad del fenómeno depende del grado de contacto que haya entre ambos, la diferencia de temperatura y del grado de resistencia al calor que tengan los organismos. Habitualmente, por este mecanismo, se puede llegar a una pérdida de calor corporal del 3%. Sin embargo, este mecanismo adquiere gran importancia cuando se produce una inmersión en agua fría, dado que la pérdida de calor por conductividad en este medio es 32 veces superior a la del aire.

La *convección* es la transferencia de calor desde el cuerpo hasta las partículas de aire o agua que entran en contacto con él. La pérdida de calor es proporcional a la superficie expuesta y

puede llegar a suponer una pérdida de hasta el 12%.

La *radiación térmica* se produce cuando un cuerpo se expone a una fuente que emite calor. La pérdida de calor por radiación significa pérdida de calor en forma de rayos infrarrojos, que son ondas electromagnéticas. Es decir, existe un intercambio de energía electromagnética entre el cuerpo y el medio ambiente u objetos más fríos y situados a distancia. La cantidad de radiación emitida varía en relación al gradiente que se establece entre el cuerpo y el medio ambiente. Hasta el 60% de la pérdida de calor corporal puede tener lugar por este mecanismo.



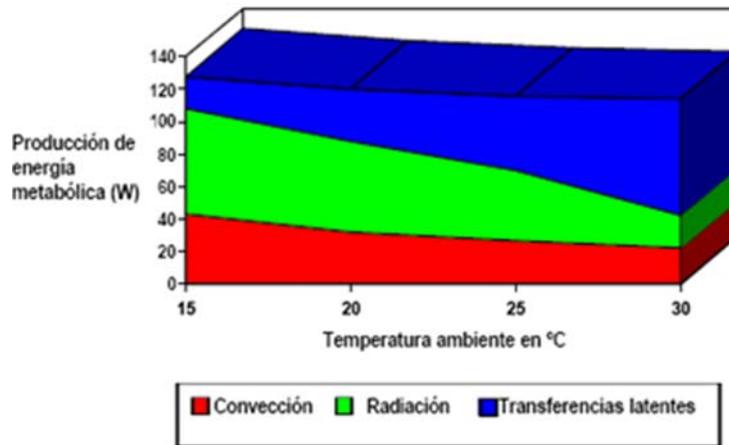
Calefacción solar por aire

## D. CLIMA Y CONFORT TÉRMICO

### D.1. TEMPERATURA CORPORAL HUMANA

El ser humano es un animal homeotermo (organismo que puede contar con mecanismos internos que utiliza la energía almacenada en el cuerpo para mantener constante la temperatura) que en condiciones fisiológicas normales mantiene una temperatura corporal constante y dentro de unos límites muy estrechos, entre  $36,6 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ , a pesar de las amplias oscilaciones de la temperatura ambiental. Esta constante biológica se mantiene gracias a un equilibrio existente entre la producción de calor y las pérdidas del mismo y no tiene una cifra exacta. Existen variaciones individuales y puede experimentar cambios en relación al ejercicio, al ciclo menstrual, a los patrones de sueño y a la temperatura del medio ambiente. Existen diferencias regionales importantes, pudiendo encontrarse diferencias de hasta  $10-15^{\circ}\text{C}$  entre la existente en los órganos centrales (corazón, cerebro y tracto gastrointestinal) y las puntas de los dedos, principal determinante de la respuesta corporal a los cambios climáticos. El hipotálamo tiene un doble sistema de regulación de la temperatura; la porción anterior o rostral, encargada de disipar el calor, mientras que en la posterior con centros simpáticos, conserva y mantiene

la temperatura corporal. Son las células de la región posterior (conservadora de calor) las que predeterminan la temperatura de 37°. El mantenimiento de la temperatura y las reacciones necesarias para conservarla se realiza a través de impulsos que llegan de la periferia (receptores térmicos) y de la temperatura con que la sangre llega al hipotálamo, siendo estos impulsos conducidos hacia la región posterior hipotalámica. La zona anterior, respondería a estos estímulos con la puesta en marcha de mecanismos que conducirían a una pérdida de calor (sudoración y jadeo).



Producción de energía metabólica. Regulación de la temperatura. Capítulo 9.3. Síndromes hipotérmicos. [www.tratado.uninet.edu](http://www.tratado.uninet.edu)



Calefacción solar por aire

## D.2. CONFORT TÉRMICO

La norma ISO 7730 lo define como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico". Esta definición puede satisfacer a la mayoría de la gente, pero también es una definición que no es fácil de convertir en parámetros físicos. La sensación de comodidad térmica del hombre está relacionada con el calor producido por su metabolismo, ya que si existe un equilibrio entre el calor generado espontáneamente por una persona y el que disipada al entorno se producirá una sensación de bienestar, pero si la cantidad de calor disipado es excesiva la persona sentirá una sensación de frío, o una sensación de calor si el calor disipado es insuficiente.

Dos condiciones deben ser cumplidas para mantener el confort térmico. La primera es que la combinación actual de temperatura de piel y temperaturas del núcleo del cuerpo proporcione una sensación térmica neutra. La segunda es el equilibrio del balance de energía del cuerpo: el calor producido por el metabolismo debería ser igual a la cantidad de calor disipada por el cuerpo. Las relaciones entre los parámetros: temperatura de la piel, temperatura del núcleo corporal y actividad, cuyo resultado es una *sensación térmica neutra*, esta basada en un gran número de experimentos. El hombre considera cómodo el ambiente si no existe ningún tipo de incomodidad térmica. La primera condición de comodidad es la *neutralidad térmica*, que significa que una persona no siente ni demasiado calor ni demasiado frío. El cerebro interpreta las señales como una suma de impulsos positivos y negativos que se anulan entre sí.



Aunque una persona tenga una sensación de neutralidad térmica en general, puede tener partes del cuerpo en condiciones de incomodidad térmica. Este malestar térmico local no se puede evitar elevando o disminuyendo la temperatura del local. Es necesario eliminar la causa del calentando o enfriando localizado. Generalmente, el malestar térmico local se puede clasificar en algunas de estas 4 categorías:

1. El enfriamiento local del cuerpo por convección ocasionado por el turbulencias
2. El enfriamiento o calentamiento por la radiación de zonas del cuerpo. Esto es conocido como un problema de asimetría de la radiación.
3. Los pies fríos y la cabeza caliente al mismo tiempo, ocasionado por una gran diferencia vertical de temperatura del aire.
4. Los pies calientes o fríos, ocasionados por una temperatura incómoda del suelo.

### D.3.NIVEL METABÓLICO MET

El metabolismo es el motor del cuerpo, y la cantidad de energía producida por el metabolismo depende de la actividad muscular. Normalmente toda la actividad muscular es convertida en calor en el cuerpo, pero durante trabajos físicos externos la proporción puede bajar al 75%. El metabolismo se suele medir en Met, correspondiente al nivel de actividad de una persona sedentaria, y equivale a una pérdida de calor de 58.2 W/m<sup>2</sup> de superficie corporal o 50 kcal/hxm<sup>2</sup>. Un adulto normal tiene una superficie de piel de 1.7 m<sup>2</sup>, de manera que una persona en reposo pierde aproximadamente 100W. Nuestro metabolismo está al mínimo mientras dormidos (0.8 Met) y se incrementa al máximo durante actividades deportivas, pudiendo superar los 10 Met. Cuando se evalúa el nivel metabólico de una persona es importante calcular el valor medio durante la última hora como mínimo, ya que la capacidad térmica del cuerpo hace que éste cambie de temperatura muy lentamente.



Oficina  
(1.2met)



Enseñanza  
(1.6 met)



Ciclismo lento  
(3.5 met)



Cargar carretilla piedras  
(4.7met)

Actividades en met

### D.4.NIVEL DE ROPA CLO



La ropa reduce la pérdida de calor de cuerpo. Por lo tanto, la ropa se clasifica según su valor de aislamiento (ver tabla de nivel de ropa clo de la sección de anexos de este documento). La unidad normalmente usada para medir el aislamiento de ropa es la unidad Clo, aunque también se utiliza la unidad más técnica de m<sup>2</sup>C/W (1 Clo = 0.155 m<sup>2</sup>C/W). La escala Clo se ha diseñado para que una persona desnuda tenga un valor de 0.0 Clo, y alguien vestido con un traje típico de negocio tenga un de valor de 1.0 Clo.

Ejemplo de equivalencia en clo. L.M.F.



Calificación solar por aire

El valor Clo se puede calcular si se conoce la vestimenta de las personas y los valores Clo de cada una de las prendas, sumando simplemente los valores de cada una, considerando que las butacas tapizadas, los asientos de automóvil y las camas también reducen la pérdida de calor del cuerpo, y por lo tanto, estos deben incluirse en el cálculo total. Actualmente se suele tomar un aislamiento global de la vestimenta para el diseño de las instalaciones de aire acondicionado de: 0,5 clo para verano y 1 clo para invierno.

#### D.5. PARÁMETROS AMBIENTALES

Cuando se mide el ambiente térmico de una habitación es importante recordar que el hombre no puede sentir la temperatura del local, sino el calor que pierde su cuerpo. Los parámetros que se deben medir son aquellos que afectan a la pérdida de energía. Estos son:

$t_a$	Temperatura del aire	°C
$t_{rm}$	Temperatura radiante media	°C
$v_a$	Velocidad del aire	m/s
$p_a$	Humedad	Pa

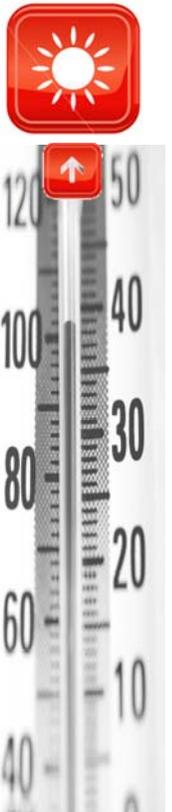
Temperatura del aire (Ta): Parámetro básico para la evaluación térmica de un local y se mide con un termómetro de bulbo seco.

Temperatura radiante media (Trm): Promedio de las temperaturas de las superficies interiores del local y es tan importante como la temperatura del aire por la magnitud del intercambio de radiación infrarroja; suele ser similar a la del aire interior, pero si hay alguna superficie relativamente caliente (techos en verano) o fría (ventanas en invierno) conviene calcular la Trm ponderada, según el área (An) y la temperatura (Tn) de cada una de las (n) paredes, suelo y techo:  $Trm = \frac{\sum (Tn \times An)}{\sum An}$

Temperatura operativa (To): Es una combinación de la temperatura del aire Ta y la TRm, con un efecto conjunto similar. Si la velocidad del aire es pequeña ( $V < 0.2$  m/s) se puede hallar media aritmética. Para otras velocidades se puede aplicar la fórmula:  $To = Ta \times A + Trm (1-A)$

Velocidad del aire (Va): Aumenta el enfriamiento del cuerpo y la sensación de frescor, además de otras incomodidades cuando se perciben rachas o turbulencias. En condiciones sedentarias la velocidad del aire debe limitarse por debajo de 0.25 m/s en condiciones de frío, y por debajo de 0.50 m/s en condiciones de calor, aunque se toleran velocidades de hasta 1.0 m/s en actividades en movimiento, o incluso superiores en condiciones de calor extremo y actividades intensas. Para actividades  $M > 1$  Met conviene considerar la velocidad mínima como  $V = 0.3 (M-1)$ , debido a los movimientos corporales.

Humedad relativa del aire (HR): Suele ser el factor que menos importante, sin influencias aparentes con valores entre el 40% y el 60%. Cuando los factores personales y ambientales son moderados se consideran satisfactorio el intervalo entre el 30% y el 70% de humedad relativa. Sin embargo, una humedad relativa elevada limita la evaporación del sudor, sobre



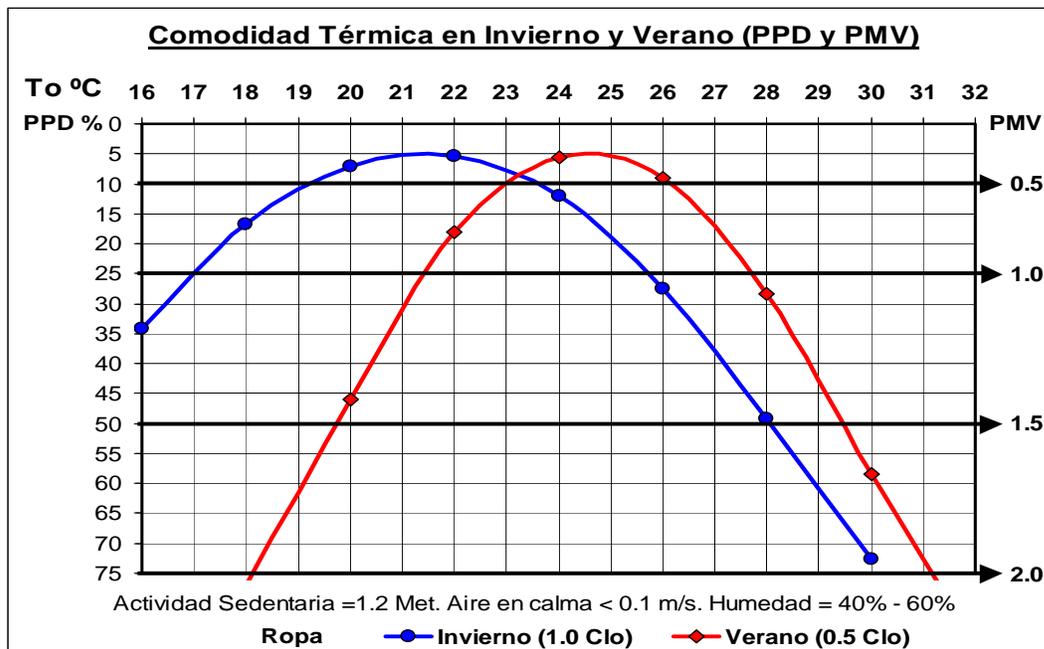
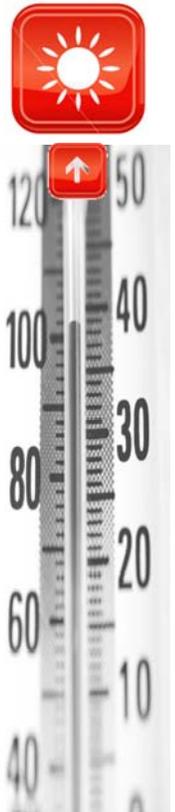
Calefacción solar por aire

todo si coinciden temperaturas elevadas con poca velocidad de aire o actividades intensas, creando una sensación incómoda que conviene corregir con los otros factores.

### D.6.EVALUACIÓN Y MEDICIÓN TÉRMICA

Para conocer el rango de confort térmico para un lugar específico se utiliza el índice PMV de Voto Medio Previsto (Predicted Mean Vote) que predice el valor medio de la sensación subjetiva de un grupo de personas en un ambiente determinado. La escala del PMV tiene un rango de sensación térmica de 7 puntos, desde - 3 (frío) a +3 (caliente), donde el 0 representa una sensación térmica neutra. Aunque el índice PMV sea 0, todavía habrán algunos individuos que estén insatisfechos con el nivel de temperatura, a pesar que todos ellos tengan una vestimenta y un nivel de actividad similar, porque la evaluación de la comodidad difiere ligeramente entre las personas.

Para predecir cuánta gente está insatisfecha en un ambiente térmico determinado, se ha introducido el índice de Porcentaje de Personas Insatisfechas PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). En el índice PPD la gente que vota - 3, - 2, +2, +3 en la escala PMV se considera térmicamente insatisfechas.



Para otras condiciones de actividad y vestimenta se puede estimar de temperatura operativa óptima (PMV=0), considerando una humedad media (HR del 40% al 60%), y el aire en reposo o con velocidad moderada en las actividades intensas, según el gráfico. Obsérvese la gran disminución de la temperatura de comodidad para actividades intensas y también para arropamientos elevados. Como ejemplo, una temperatura  $T_o=14^\circ$  puede ser óptima para una actividad intensa (3 Met) con ropa normal (0.75 clo).

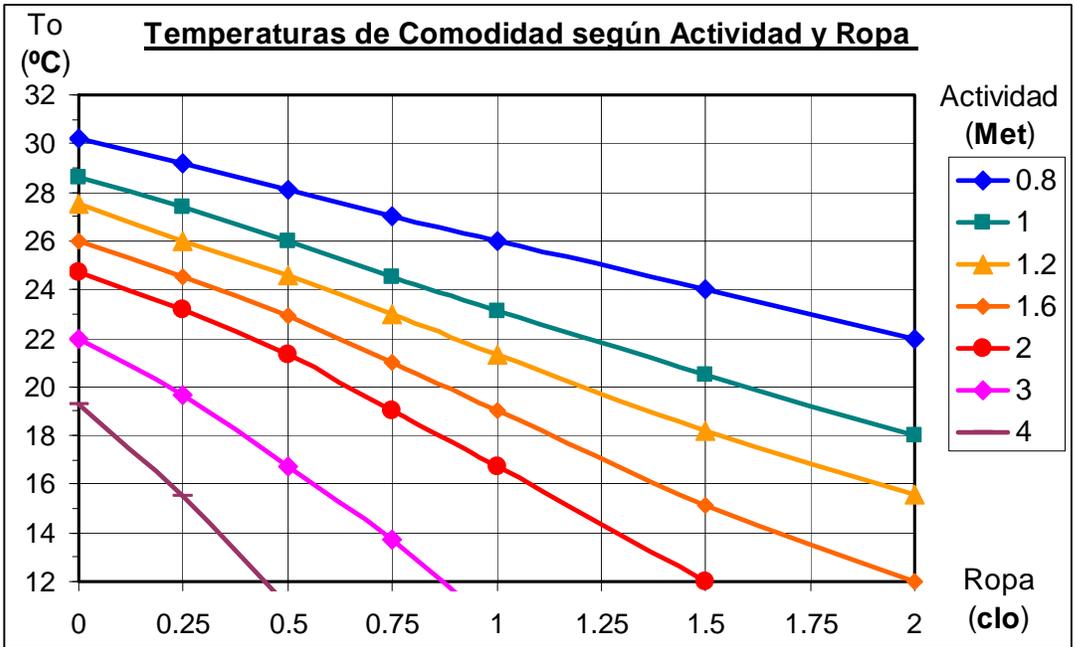
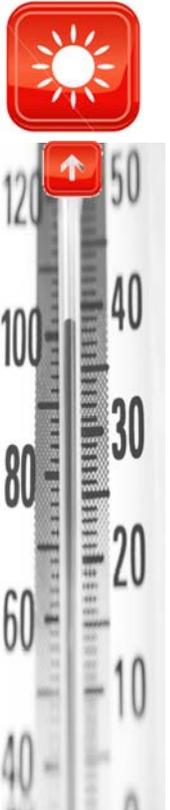


Calefacción solar por aire

Para medir y evaluar se colocan sensores en el centro de gravedad de la persona, excepto cuando se mida la Diferencia Vertical de Temperatura del Aire y las Corrientes de aire, que deben hacerse al nivel del cuello y del tobillo. Según el método elegido para medir la Pérdida de Calor Seco (H) se necesitan uno, dos o tres sensores. Las opciones son: sensor de pérdida de calor seco, sensor de temperatura operativa, sensor de velocidad del aire y un sensor de temperatura radiante, de temperatura del aire y de velocidad del aire.

La norma ISO 7730 propone las siguientes condiciones de comodidad térmica para un lugar ocupado por una persona realizando una actividad sedentaria:

- $-0.5 < PMV < +0.5$
- $DR < 15\%$  en el cuello y el tobillo.
- Diferencia Vertical de Temperatura del Aire entre el cuello y el tobillo menor de  $3^{\circ}C$ .
- Asimetría de Temperatura Radiante por ventanas frías menor de  $10^{\circ}C$ .
- Asimetría de Temperatura Radiante por techos calientes menor de  $5^{\circ}C$ .
- Temperatura del Suelo entre  $19^{\circ}C$  y  $29^{\circ}C$ .
- Humedad Relativa entre 30% y 70%.

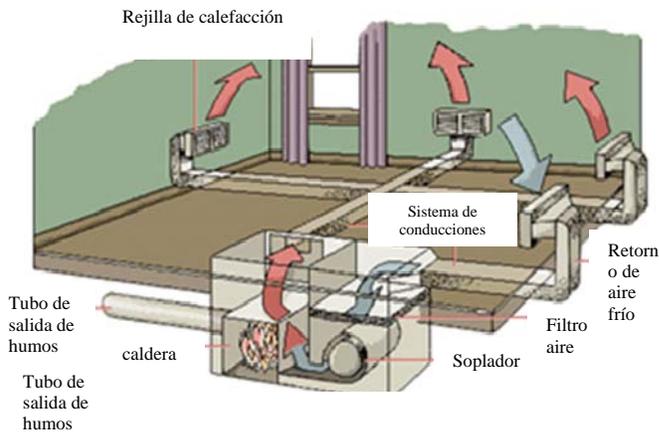


Calefacción solar por aire

# E. CALEFACCIÓN

## E.1.SISTEMAS DE AIRE

Los sistemas más sencillos de calefacción por aire caliente consisten en una caldera y un conducto para eliminar gases, situados en una cámara o recinto metálico, y una red de ductos hacia las habitaciones. Para asegurar la circulación natural del aire caliente, que tiende a elevarse, la caldera se coloca por debajo del primer piso del edificio. El aire frío



*Calefacción por aire.* Enciclopedia Encarta. Microsoft Corporation 2007.

del interior del edificio o del exterior, penetra en la cámara y se calienta por contacto con las paredes calientes de la caldera. Se suele colocar en la caldera un pequeño depósito de agua para que el aire caliente se humidifique antes de circular por el edificio. Según se calienta el aire, sube a las habitaciones y atraviesa las rejillas o los elementos que haya en ellas, que abren o cierran para regular la temperatura de la habitación.

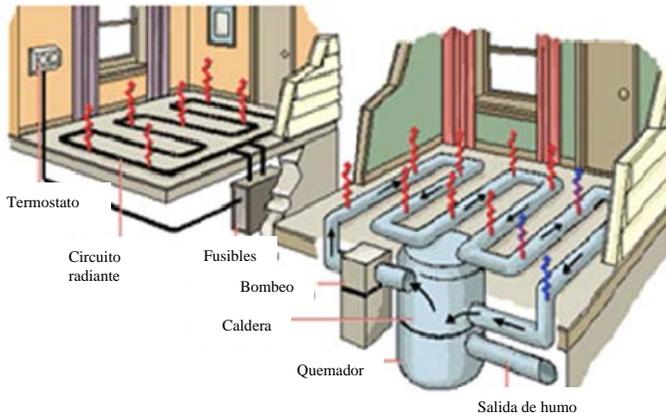
## E.2.SISTEMAS DE AGUA

Los primeros sistemas de calefacción por agua caliente funcionaban —de acuerdo a algunos datos históricos— con aguas termales de manantiales naturales. Los sistemas actuales emplean una caldera donde el agua se calienta a una temperatura entre 60 y 83 °C. El agua se envía a los radiadores de las habitaciones por un circuito de tuberías. La circulación se consigue por presión y gravedad, y para mayor control se utilizan bombas a modo de circulación forzada. Hay sistemas de uno y dos conductos. En los sistemas de una tubería, el agua se envía a la boca de entrada del radiador, circula por éste y sale por la misma tubería. La desventaja de este sistema es que el agua se enfría cada vez más a medida que se aleja de la caldera, por lo que los radiadores más alejados deben ser más grandes que los cercanos a la caldera para proporcionar la misma cantidad de calor. En los sistemas de dos conductos, el agua caliente se envía a los radiadores por una tubería de suministro y les llega a la misma temperatura; el agua de todos los radiadores se recoge con una tubería común de retorno a la caldera; este sistema es más eficaz y más fácil de controlar. Ambos requieren un tanque de expansión para compensar las variaciones de la cantidad de agua que contiene aire (más o menos la mitad de su volumen), que se comprime o expande para compensar las fluctuaciones del volumen de agua.



*Calefacción solar por aire*

Los sistemas radiantes funcionan irradiando calor a través de muros, pisos, o de paneles de techo, cuando la circulación del aire caliente, agua caliente, vapor o una corriente eléctrica en resistencias pasa dentro o detrás de paneles en contacto con el aire a calefactar. La Organización Mundial de la Salud recomienda el sistema de suelo radiante como de los más adecuados para la salud, ya que al distribuirse el calor por el suelo se consigue un gradiente de temperatura ideal para el confort humano manteniendo los pies calientes y la cabeza fresca.



*Calefacción por piso radiante.* Enciclopedia Encarta. Microsoft Corporation

consigue un gradiente de temperatura ideal para el confort humano manteniendo los pies calientes y la cabeza fresca.

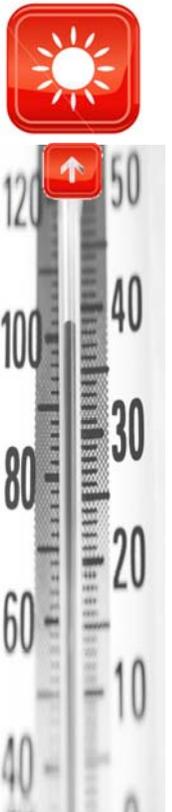
### E.3.SISTEMAS DE VAPOR

Los sistemas de calefacción por vapor son similares a los de agua caliente, con la diferencia de que circula vapor por las cañerías y radiadores en lugar de agua caliente. El vapor se condensa en los radiadores y transmite su calor latente. Se utilizan también sistemas de una y dos tuberías para hacer circular el vapor y devolver a la caldera el agua formada por condensación.

Los sistemas por orificios de aireación de una tubería se basan en que la fuerza de la gravedad obliga al vapor condensado en el radiador a bajar a la caldera por la misma tubería por la cual sube el vapor a los radiadores. Es el sistema de instalación más barata, pero los conductos deben ser lo bastante anchos como para albergar el vapor y recoger el condensado.

Los sistemas de vaporización son sistemas de dos tuberías en los que el vapor se introduce en el radiador por una válvula de admisión, y el aire y el condensado se liberan por un purgador de vapor. El agua vuelve a la caldera y el aire se descarga a través de un orificio central situado en la base o, en grandes instalaciones, por respiraderos en cada zona que se debe calentar.

Los sistemas de vacío se parecen a los de vaporización, en los que cada radiador tiene una válvula de entrada y un purgador de vapor, pero incorporan una bomba de vacío en la tubería de retorno a la caldera. Esta bomba mantiene un vacío parcial en el sistema para que el vapor, el aire y el condensado circulen con mayor facilidad. El vapor condensado y el aire se envían a un punto central en el que el primero se bombea a la caldera y el aire se expela a la atmósfera.



*Calefacción solar por aire*

#### E.4.SISTEMAS DE GAS

El sistema de calefacción a gas, generalmente gas natural, es tal vez uno de los más utilizados en nuestras ciudades. A grandes rasgos se basa en el uso de una caldera que calienta agua mediante la combustión de gas natural haciéndola circular por los radiadores repartidos por toda la casa. Las ventajas que ofrece un sistema de calefacción a gas son básicamente: el calor se reparte uniformemente por toda la casa, no hay que preocuparse por pedidos de suministro, no se almacena combustible, el uso de calderas asegura que siempre se disponga de agua caliente, la combustión de gas natural es limpia, y resulta un sistema económico que no depende de determinados periodos de funcionamiento como podrían ser los acumuladores eléctricos. La pieza central de un sistema de calefacción a gas es la caldera. En ella se quema el gas utilizándose el calor desprendido para calentar el agua que circulará por los radiadores de toda la casa, así como por las conducciones de agua corriente. Las calderas de gas, de tipo mural, se clasifican según sus prestaciones en:

- Calderas de calefacción, destinadas únicamente a alimentar los radiadores.
- Calderas mixtas, destinadas tanto a calefacción, como a la producción de agua caliente. Una limitación de este tipo de calderas es que cuantos más grifos se abran simultáneamente usando agua caliente, menor será el caudal total disponible.
- Calderas mixtas por acumulación, al igual que las mixtas permiten utilizar la calefacción y la producción de agua caliente de forma simultánea, pero incorporan un depósito de agua de forma que nunca nos encontremos con limitaciones a la hora de usar agua caliente al mismo tiempo que se tenga conectada la calefacción a gas.

#### E.5.SISTEMAS ELÉCTRICOS

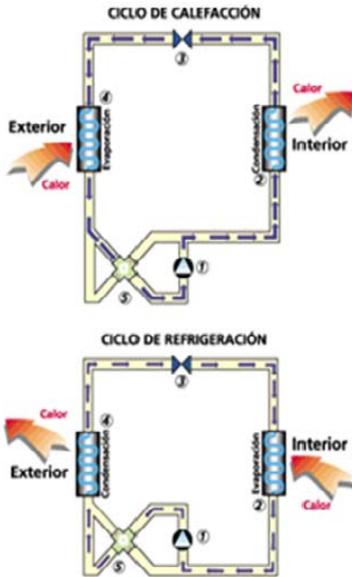
La utilización de la electricidad en los sistemas de calefacción está aumentando tanto en uso doméstico como en sistemas de grandes edificios públicos. La energía eléctrica suele ser más cara que la obtenida por la combustión de materiales, pero su bajo mantenimiento, limpieza y su reducida necesidad de espacio justifican su uso. Los elementos caloríficos se pueden situar sobre las paredes, o en ventanas o en zócalos instalados por toda la habitación; también se pueden incorporar en techos y suelos durante la construcción para irradiar calor a una temperatura media. El costo total de la calefacción eléctrica se reduce de manera sustancial empleando una bomba de calor.

Calefacción directa: Se trata de sistemas que utilizan la electricidad para generar y emitir el calor de forma inmediata y simultánea. Placas solares, radiadores de infrarrojos, placas radiantes, radiadores de aceite, convectores, etc., son algunos de los sistemas agrupados dentro de la categoría de calefacción directa. Evidentemente, dada su forma de operar, no son adecuados para tratar de aprovechar al máximo los horarios de tarificación económica.



*Calefacción solar por aire*

-Calefacción por acumulación: En determinados momentos los equipos de calefacción eléctrica por acumulación generan el calor almacenándolo temporalmente para su posterior uso. Estos sistemas de acumulación permiten aprovechar los horarios nocturnos en los que la electricidad resulta más económica.



1. Compresor
2. Intercambiador
3. Válvula de expansión
4. Intercambiador
5. Válvula de 4 vías

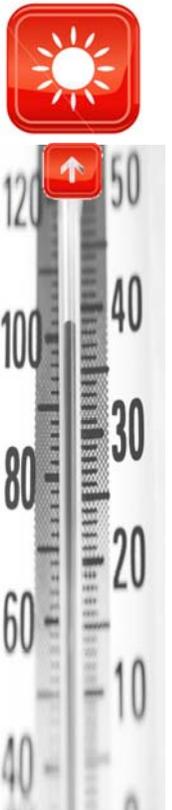
Ciclo calefacción-refrigeración con bomba de calor. INELSA CONTROLS.  
[www.inelsacontrols.com/bomba\\_calor.htm](http://www.inelsacontrols.com/bomba_calor.htm)

exterior (atmósfera, suelo, agua de un pozo, o de cualquier fuente externa); después se envía a un compresor que eleva su temperatura y presión hasta convertirlo en vapor, que se manda entonces a una rejilla interior, y el calor se transmite por radiación o convección al recinto; el refrigerante, cuando ya ha disipado gran parte del calor que contenía, atraviesa una válvula y se licúa; así descienden su temperatura y presión para ser enviado al exterior y continuar el ciclo.

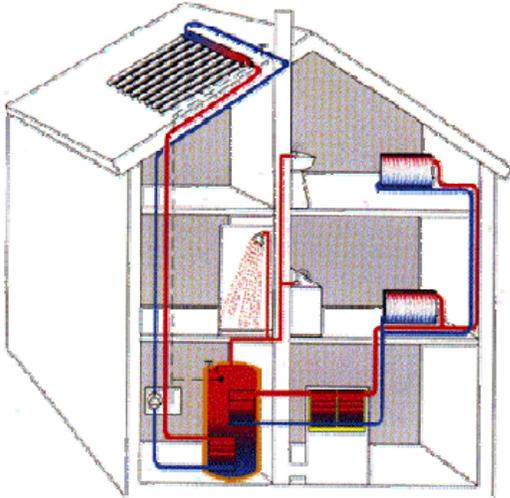
## E.6. SISTEMAS SOLARES

La energía solar es suficiente para calentar edificios diseñados exprofeso, que cuentan con las superficies absorbentes y sistemas de almacenamiento de calor adecuados para abastecer al edificio durante la noche y cuando la climatología sea inestable (calefacción solar por aportes pasivos); sin embargo existen colectores de agua (calefacción solar por agua) y colectores de aire (calefacción solar por aire) que funcionan de forma indirecta o directa para calentar un espacio.

C.S. por aportes pasivos: Los sistemas de calefacción solar por aportes pasivos se encuentran integrados en el edificio formando parte de la arquitectura, cumpliendo además de sus funciones habituales (estructurales, constructivas, estéticas...) las referidas a captación de la radiación solar y su transmisión al interior del edificio.



Calefacción solar por aire

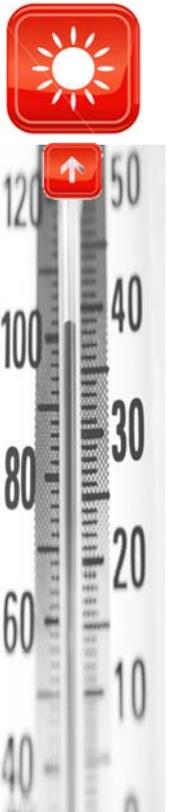


*Instalación de calefacción con colector solar de agua para suministro de radiadores y agua caliente sanitaria. Solar hot water & TEG power generators.*  
<http://www.espressomilkcooler.com/solar-hot-water>

Las instalaciones de calefacción solar por agua requieren en cambio de otros muchos elementos. Dado que la instalación esta expuesta a sufrir de bajas temperaturas nocturnas, se hará necesario un circuito primario con agua y anticongelante que evite la congelación en los colectores y la ruina de éstos. Al tener un elemento tóxico como es el anticongelante se hace necesario instalar un circuito secundario, con su respectivo intercambiador de calor, que comunique con el depósito acumulador de agua. Las instalaciones de calefacción solar por agua caliente son efectivas en combinación con suelo radiante o radiadores de agua.

C.S. por aire: Las instalaciones solares por aire son más sencillas y simples que las de agua. Dado que la finalidad última de la calefacción es calentar el aire resulta mucho más sencillo que el fluido que se hace pasar por los colectores solares sea directamente el aire que se quiera calentar por lo que sólo se hace necesario los colectores, los conductos y un aerocirculador.

C.S. por agua: Las instalaciones de calefacción por agua requieren en cambio de otros muchos elementos. Dado que la instalación esta expuesta a sufrir de bajas temperaturas nocturnas, se hará necesario un circuito primario con agua y anticongelante que evite la congelación en los colectores y la ruina de éstos. Al tener un elemento tóxico como es el anticongelante se hace necesario instalar un



*Calefacción solar por aire*

## REFERENCIAS

### A.ENERGÍA

CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). Fascículo 1: La energía y sus cambios; Fascículo 2: La energía calorífica. San Sebastián, España.

DECEUNICK. *Aislamiento térmico*. (ref. 22 de julio de 2007).

Disponible en web: <<http://www.deceuninck.es/dsaislatermico.php>>

HUNTER. *The Earth's Atmosphere* (ref. 22 de julio de 2007). Chapter 1.

Disponible en web:

<<http://www.geography.hunter.cuny.edu/~tbw/wc.notes/1.atmosphere/notes1.htm>>

### B.ENERGÍA SOLAR

CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). Fascículo 3: La energía solar. San Sebastián, España.

FIERNOVA. *Energía térmica*. (ref. 16 de mayo de 2007). Radiación solar. Geometría solar.

Disponible en web:

<[http://www.fiernova.com/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95](http://www.fiernova.com/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95)>

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE MADRID. *Radiación solar*. (ref.20 mayo de 2007). Carta solar cilíndrica. Madrid, España. Disponible en web:

<[www.ies-def.upm.es/ISF/programa\\_2002\\_0303/4\\_RadSolar.pdf](http://www.ies-def.upm.es/ISF/programa_2002_0303/4_RadSolar.pdf)>

UPME. *Atlas de Radiación Solar en Colombia*. (ref. 16 de mayo de 2007). Declinación solar.

Disponible en web: <[www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)>

### C.ENERGÍA SOLAR Y CLIMA

BUCKLEY, et al. *Meteorología*. (traducción: Monasterio, Rocío y Bonet, Assimpta). Grupo editorial CEAC, S.A. Barcelona, España.2004.303p.

MOLINA, Roberto. *Capítulo 4: La atmósfera: una capa invisible*. (ref. 22 de julio de 2007).

Unidad II: Atmósfera, océanos y biósfera. Disponible en web:

[www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html](http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html)

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UCV. *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*. Venezuela, 2007. (ref.6 de mayo de 2007).

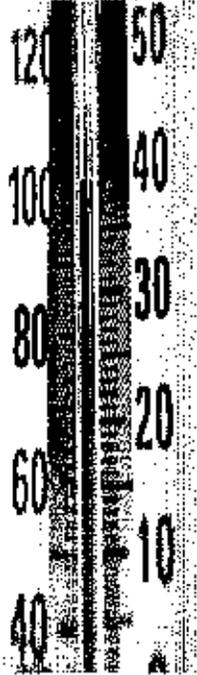
Confort y clima. Disponible en web:

<<http://fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualconfort.html>>

### D.CLIMA Y CONFORT TERMICO



calefacción solar por aire



calefacción solar por aire

BJØRN, Kvisgaard. *Thermal Comfort*. 1997. Denmark. (ref. 28 de abril de 2007) Traducción: Manuel Martín Monroy © 2000. Disponible en web: <<http://www.innova.dk/books/thermal/thermal.htm>>

STAR MEDIA. *Confort térmico*. (ref. 6 de mayo de 2007). Extracto comodidad. Ingeniería térmica.

UNINET. *Regulación de la temperatura*. (ref. 6 de mayo de 2007) Capítulo 9.3: Síndromes hipertérmicos. Disponible en web: <[www.tratado.uninet.edu](http://www.tratado.uninet.edu)>

QUADRI, Nestor. *Nuevos conceptos de diseño en aire acondicionado*. (ref. 4 de mayo de 2007) Artículo publicado en Revista Clima Nº 183- Año 2004. Disponible en web: <[www.acondicionamiento.com.ar](http://www.acondicionamiento.com.ar)>

### E.CALEFACCIÓN

ANSWERS. *Heating*. (ref. 23 de julio de 2007) Disponible en web: <http://www.answers.com/topic/heating>

BRICOLAJE Y REPARACIONES. *Climatización*. (ref. 29 de julio de 2007). Calefacción de gas y Sistemas de calefacción eléctrica. Disponible en web: <http://www.otrascosas.com/brico/article.asp?id=119>

CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). Fascículo 5: Aprovechamiento térmico II; Fascículo 6: Aprovechamiento térmico III. San Sebastián, España.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. *Heating*. (ref. 23 de julio de 2007) Disponible en web: <http://www.britannica.com/eb/article-9039743/heating>

MICROSOFT CORPORATION. *Calefacción*. Enciclopedia Encarta 2007.

THERMOSTONE-ALICANTE. *Salud*. (ref. 24 de julio de 2007) Calefacción por radiación y calefacción por convección. Disponible en web: <http://www.thermostone-alicante.com/es/salud.htm>

SOL I CLIMA. *Energía solar térmica*. (ref. 28 de julio de 2007). Bomba de calor y suelo radiante. Disponible en web: [www.soliclimate.com](http://www.soliclimate.com)

WIKIPEDIA. *HVAC*. (ref. 23 de julio de 2007). Heating. Disponible en web: <http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC>

## LISTADO DE IMÁGENES

1. Gráfico de cambio climático histórico
2. Escenario previsto de temperatura máxima promedio para el mes de mayo de 2020 en la Ciudad de México
3. Calentamiento global simbólico representado en termómetro.
4. Pirámide de kulkán en Chichen Itzá. Mérida, Yucatán.
5. Diagrama en corte del sistema hipocausto romano
6. Calefacción por aire.
7. Heliocaminus, donde Plinio acostumbraba a tomar baños de sol.
8. Cubiertas acristaladas alemanas.
9. Caja caliente de Saussure.
10. Calentador solar de Morse, 1881.
11. Esquema de corte transversal del muro trombe–michael.
12. Diagrama esquemático de un colector solar creado por George Löf.
13. Deflectores en un colector solar de aire.
14. Aislamiento térmico transparente de Schmidt y Christoph
15. Vista superior de un colector solar de aire donde se suministra un fluido caloportador (humo) y se hace pasar por deflectores transversales.
16. Esquema comparativo del volumen de agua y aire necesario para transportar una misma cantidad de energía calorífica
17. Suministro de calefacción con sistema activo.
18. Esquema de muro transversal donde se muestra un ejemplo de un colector adosado a fachada con circulación natural.
19. Esquema de muro transversal donde se muestra un ejemplo de un colector adosado a fachada con circulación forzada empleando un aerocirculador.
20. Esquema general de un sistema de calefacción solar por aire (SCSA).
21. Principio de la colección solar.
22. Esquema de colector solar en forma de dispositivo.
23. Colector solar de aire, mostrando ductos de distribución.
24. Proceso de transferencia de calor en un vidrio
25. Colector simple de circulación delantera
26. Colector de placa intermedia
27. Colector de placa intermedia de circulación paralela
28. Colector de placa intermedia de circulación doble contraria
29. Colector de placa intermedia con doble vidrio
30. Colector de aire sin vidrio
31. Esquema de plano inclinado
32. Deflectores en colector solar de aire
33. Visualización de la tasa de flujo de aire en un colector solar de aire provisto de deflectores transversales haciendo pasar humo.
34. Gráfica de eficiencia de colector conforme a deflectores
35. Gráfica de calor específico del agua, piedra, madera y plástico
36. Gráfica de calor específico del agua, piedra, madera, plástico y material con cambio de fase
37. Unidad de almacenamiento de calor a modo de lecho de piedrecillas.
38. Lecho de rocas de almacenamiento vertical mostrando estratificación de calor
39. Lecho de rocas de almacenamiento horizontal
40. Zona de plenum equivalente al 8% de la sección del contenedor.
41. Fase I de funcionamiento de SCSA con contenedor de rocas.
42. Fase II de funcionamiento de SCSA con contenedor de rocas.
43. Fase III de funcionamiento de SCSA con contenedor de rocas.
44. Contenedor con tubos llenos de material de cambio de fase.
45. Contenedor con paneles llenos de material de cambio de fase

46. Distribución de aire caliente por ductos
47. Ventilador axial y ventilador centrífugo con motor externo
48. Corte transversal de ventilador axial, ventilador axial con envolvente propia, ventilador axial con envolvente mural y palas.
49. Corte transversal de ventilador centrífugo, ventilador centrífugo con envolvente mural, ventilador centrífugo con envolvente propia y envolvente o caja espiral.
50. Disipador circular, disipador pasa-muro y disipador horizontal.
51. Silenciador, atenuador acústico y válvula de retención.
52. Tipos de SCSA conforme a interacción de elementos I.
53. Tipos de SCSA conforme a interacción de elementos II.
54. Esquema de un sistema de calefacción integrada a techo con distribución a planta baja.
55. Colector adosado en techo en restaurante japonés. Sistema OM Solar.
56. Esquema de un invernadero adosado
57. Invernadero adosado
58. Tipos de calefacción adosada por invernadero I.
59. Tipos de calefacción adosada por invernadero II.
60. Colector adosado a fachada.
61. Esquema de edificio con fachada doble piel.
62. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo muro cortina.
63. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo fachada seccionada.
64. Corte transversal y elevación de un SCSA tipo caja ventana.
65. Fachada acristalada y detalle de fachada acristalada
66. Balance nacional de energía
67. Diversidad de usuarios
68. Instalación de tuberías de cobres en desuso, que pueden ser reutilizados como ductos de suministro de aire caliente
69. Regulación de temperatura corporal
70. Intercambio de calor entre cuerpo humano y ambiente
71. Relación temperatura interior ( $^{\circ}\text{C}$ ) y distancia a la pared exterior en metros
72. Relación temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) y distancia a la pared exterior (m)
73. Localización de filete de aire superior e inferior
74. Perfiles de temperatura vertical al centro de una habitación con diferentes sistemas de emisión de calor.
75. Efectos de la humedad: moho, mal olor y bacterias.
76. Abaco 1
77. Abaco 2
78. Ventana con vidrio doble y cámara de aire o mezcla de gases pesados.
79. Perfiles de temperatura vertical al centro de una habitación con diferentes sistemas de emisión de calor.
80. Detalle de absorción acústica en ducto de suministro de aire caliente
81. Termómetro clásico de madera y termómetro digital
82. Fabricación casera de un colector solar de aire sin vidrio empleando latas de refresco
83. Hormigón celular YTONG
84. Termografía de un edificio antes y después de una rehabilitación de aislamiento térmico.
85. Retardo térmico debido a la alta inercia térmica del muro.
86. Efectos de la humedad en materiales: corrosión, condensación y absorción de humedad en materiales de cualidades higroscópicas.
87. Transmisión de radiación solar en un cuerpo opaco y en un cuerpo translúcido.
88. Infiltraciones en una vivienda.
89. Muro de piedras
90. Tanques de agua para almacenar calor en un invernadero adosado
91. Control del sistema hecha por usuario.
92. La inspección básica del sistema debe poder ser realizada por el usuario, y la inspección anual por personal calificado.
93. Inmueble y amortización

94. Ambiente y CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O
95. Porcentaje de energías fósiles destinado a cada sector económico
96. Localización geográfica mediante fotografía aérea
97. Imágenes del contexto natural de la zona denominada Desierto de los Leones, Delegación Cuajimalpa, Distrito Federal.
98. Planta arquitectónica
99. Fachada norte de la vivienda
100. Gráfica de temperatura de normales climatológicas de la estación ExConvento Desierto de los Leones.
101. Gráfica de humedad relativa de normales climatológicas de la estación ExConvento Desierto de los Leones.
102. Gráfica de temperatura horaria y gráfica de humedad relativa horaria, para el mes de marzo
103. Gráfica de termopreferendum
104. Diagrama psicrométrico de Olgay, donde se localizan las temperaturas horarias para el día 10 de marzo
105. Relación entre temperatura corporal y temperatura exterior
106. Gráfica de temperaturas de comodidad según actividad y ropa
107. Gráfica de ganancias de calor interna
108. Gráfica de temperatura horaria ambiental e interior del día 10 de marzo
109. Diagrama psicrométrico de Givoni
110. Uso de ábaco 1 y 2, para obtener la temperatura efectiva y el punto de rocío
111. Gráfica de ventajas comparativas para el uso de equipos
112. Gráfica comparativa de ventajas de equipo tecnológico para requerimientos secundarios
113. Gráfica de temperatura ambiente, temperatura interna y temperatura interna utilizando 3m<sup>2</sup> de superficie colectora
114. Gráfica de temperatura ambiente, temperatura interna y temperatura interna utilizando 7m<sup>2</sup> de superficie colectora
115. Imagen previa de superficie colectora del sistema Solarwall
116. Imagen previa de subsistema de distribución (izq) y aerocirculador centrífugo (der)
117. Gráfica de costo de materiales de ductos y aerocirculador. proporcional al área (arriba). Gráfica de costo de materiales de superficie captadora en relación al área de unidad colectora (abajo).
118. Tiempo de amortización empleando el sistema Solarwall.
119. Planta arquitectónica e isométrico para ubicar la propuesta de doble unidad colectora
120. Diferencia en la forma de suministro entre el sistema Solarwall y el sistema matrixair.
121. Detalle constructivo SW
122. Detalle de superficie acristalada en techo
123. Gráfica de temperatura interna en invernadero obtenida por colección solar
124. Detalle de apertura de registro vertical en área de conexión estancia –invernadero en fase nocturna
125. Detalle de muro acumulador con vidrio (a) rocas (B) y aislamiento térmico (C)
126. Detalle constructivo de muros intervenidos con aislamiento térmico
127. Detalle constructivo de ventana doble
128. Esquema de funcionamiento en planta en periodo diurno
129. Esquema de funcionamiento en corte transversal de zona de recámaras (fase diurna)
130. Esquema de funcionamiento en isométrico (fase diurna)
131. Esquema de funcionamiento en planta fase nocturna
132. Termómetro digital
133. Difusor para muro
134. Esquema de funcionamiento en corte transversal x-x' (fase nocturna)

## LISTADO DE TABLAS

1. Características del cristal
2. Características de los plásticos.
3. Tabla de valores R de materiales aislantes
4. Valores de emitancia de materiales absorbentes
5. Eficiencia de absorbedores de acuerdo al color de la placa
6. Comparativa de deflectores desarrollados por diversos autores, donde se indica la eficiencia y temperatura obtenida en base a la tasa de flujo de aire
7. Calor específico, densidad y capacidad calorífica de materiales comunes de construcción.
8. Propiedades físicas de los materiales más comunes de la construcción.
9. Propiedades de sales hidratadas
10. Listado comparativo de casos análogos.
11. Comparativa de tecnologías por país, marca, tipo de SCSA y tipo de colector
12. Comparativa de temperatura de suministro
13. Comparativa de flujo necesario de aire para funcionamiento eficaz del sistema
14. Comparativa de la eficiencia del sistema
15. Coeficiente de transmisión calorífica total (U) y tiempos de inercia característicos para muros homogéneos.
16. Propiedades superficiales selectivas de materiales utilizados en procesos térmicos de energía solar.
17. Renovaciones o cambios de aire por tipo de espacio dentro de una vivienda
18. Sustitución de valores para obtener G conforme a superficie de entrada y salida
19. Comparativa de la forma de circulación del aire en los sistemas (natural o forzada)
20. Comparativa del valor estético atribuido a las tecnologías del catálogo de SCSA
21. Comparativa del nivel de complejidad para efectuar inspección, mantenimiento y limpieza
22. Comparativa del costo promedio por proyecto sin incluir costos por instalación y transporte
23. Comparativa de los años necesarios para amortizar la inversión
24. Gases efecto invernadero
25. Comparativa de modelos de cálculo de unidad colectora
26. Temperatura tabulada de normales climatológicas de la estación EDL, dado en °C.
27. Humedad relativa tabulada de normales climatológicas de la estación EDL, dado en %.
28. Termopreferendum respecto a temperatura media mensual
29. Índice de Misenard
30. Datos horarios de inicio para el cálculo térmico del día 10 de marzo a las 8:00 hrs.
31. Datos horarios de temperatura sol/aire
32. Datos horarios del flujo de calor por radiación directa, infiltración y ventilación.
33. Valores de calor específico, densidad y capacitancia por material constructivo
34. Comparativa de ventajas de cada equipo tecnológico para requerimientos primarios
35. Comparativa de ventajas de cada equipo tecnológico para requerimientos secundarios
36. Ficha técnica del sistema solarwall
37. Datos arrojados por el modelo Retscreen en el aspecto de unidad colectora
38. Datos arrojados por el modelo Retscreen modificando el área de unidad colectora
39. Datos arrojados por el modelo Retscreen. Reducción de gases efecto invernadero
40. Datos arrojados por el modelo Retscreen en el aspecto de producción energética anual
41. Datos arrojados por el modelo Retscreen: Inversión inicial

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ALMANZA Salgado, Rafael. Ingeniería de la Energía Solar.
- ANDER, GREGG D. *Daylighting Performance and Design*. Chapter 3: Glazing Properties. ISBN: 978-0-471-26299-2. Mayo, 2003.
- ANSWERS. *Heating*. (ref. 23 de julio de 2007) Disponible en web: <<http://www.answers.com/topic/heating>>
- BEHLING, Sophia y Stefan. *Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible*. READ. GG. Barcelona, 2002.
- BLESA, Ramón. *Conocimientos fundamentales sobre climatización*. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1994.
- BJØRN, Kvisgaard. *Thermal Comfort*. 1997. Denmark. (ref. 28 de abril de 2007) Traducción: Manuel Martín Monroy © 2000. Disponible en web: <<http://www.innova.dk/books/thermal/thermal.htm>>
- BRICOLAJE Y REPARACIONES. *Climatización*. (ref. 29 de julio de 2007). Calefacción por energía solar térmica. Disponible en web: <<http://www.otrascosas.com/brico/article.asp?id=119>>
- BUCKLEY, et al. *Meteorología*. (traducción: Monasterio, Rocío y Bonet, Assimpta). Grupo editorial CEAC, S.A. Barcelona, España. 2004. 303p.
- CIMADEVILLA, Gustavo. *Difusión de innovaciones ambientales*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina.
- CONAE. Normas Oficiales Mexicanas. (ref. 11 de octubre de 2008). Disponible en web: [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_22\\_normas\\_oficiales\\_mex](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_22_normas_oficiales_mex)
- CROISET, Maurice. Humedad y temperatura en los edificios. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España. 1976.
- DANIELS, Farrington. *Uso directo de la energía solar*. H.Blume ediciones. Yale University Press, Londres 1964.
- DECEUNICK. *Asilamiento térmico*. (ref. 22 de julio de 2007). Disponible en web: <<http://www.deceuninck.es/dsaislatermico.php>>
- Energía solar térmica. Proyecto RES & RUE Dissemination.
- CENTRO DE CULTURA Y CORRESPONDENCIA. *Energía solar y agroenergética*. (distribuido en México por Instituto Maurer). San Sebastián, España. 1982.
- HENNING, Hans-Martin. Solar Assisted Air-conditioning in Buildings. IEA (International Energy Agency) Solar Heating and Cooling programme.
- HUENCHUÑIR, Marcelo. Sistemas de fachada con aislación térmica transparente. Revista BIT. NO.25 Marzo, 2002.
- HUNTER. *The Earth's Atmosphere* (ref. 22 de julio de 2007). Chapter 1. Disponible en web: <<http://www.geography.hunter.cuny.edu/~tbw/wc.notes/1.atmosphere/notes1.htm>>
- SELKOWITZ, S.. *Tips for daylighting with windows*. Glazing properties. California Institute for Energy Efficiency (CIEE), Universidad de California, EUA. 1997.
- ENCICLOPEDIA SALVAT. Ciencia y Tecnología. *Calefacción*. Tomo II. Mc Graw-Hill, Inc. Barcelona, España. 1968.
- ENERGÍA NATURAL. *Secadores solares por aire caliente para granos y hortalizas*. (ref. octubre 7 de 2007) Información general. Disponible en web: <http://www.energianatural.com.ar/cs-ac03.html>

- FAGGEMBAUU, Débora. Heat transfer and fluid dynamics in double and single skin facades. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006.
- FIERNOVA. *Energía térmica*. (ref. 16 de mayo de 2007). Radiación solar. Geometría solar. Disponible en web: <[http://www.fiernova.com/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95](http://www.fiernova.com/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=7&id=70&Itemid=95)>.
- ITESO. *Calefacción solar*. (ref. 9 de junio de 2007). Calefacción solar por aportes pasivos. Disponible en web: <http://iteso.mx/~ar47331/calefaccion.htm>
- DOE. *Solar heating and you*. (ref. junio 27 de 2007). Documento producido por el Departamento de Energía (DOE) de los E.U.A. y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) utilizando información técnica. DOE/CH10093-272 FS 118. Agosto de 1994.
- KORNHER, et. al. *Solar air heating systems*. Rodale P, EUA. Junio, 1984.
- LEWIS, Owen. *Energy in Architecture*. The European Passive Solar handbook. Chrysalis. 1992
- McQUINSTON, et al. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Ed. Limusa Wiley. Méx, 2007.
- MOLINA, Roberto. *Capítulo 4: La atmósfera: una capa invisible*. (ref. 22 de julio de 2007). Unidad II: Atmósfera, océanos y biósfera. Disponible en web: <[www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html](http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html)>
- Noticias PSA. (ref. mayo 2008) *Chubut: un congreso, la vivienda bioclimática y la concepción socioterritorial del PSA*. Publicación mensual del Programa Social Agropecuario. No.3 Enero del 2007. Rep. Argentina. Disponible en web: [http://www.sagpya.mec.gov.ar/new/0-0/prensa/newsletter\\_psa/notpsa3ene07.htm](http://www.sagpya.mec.gov.ar/new/0-0/prensa/newsletter_psa/notpsa3ene07.htm)
- OLGAY, Victor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Princeton University Press, 1963. GG. Barcelona, España. 1998.
- PRO COBRE. El colector solar de placa plana. (ref. octubre 7 de 2007) Disponible en web: <[www.procobre.com/procobre/aplicaciones\\_del\\_cobre/energia\\_solar\\_detalle1.html](http://www.procobre.com/procobre/aplicaciones_del_cobre/energia_solar_detalle1.html)>
- QUADRI, Nestor. *Nuevos conceptos de diseño en aire acondicionado*. (ref. 4 de mayo de 2007) Artículo publicado en Revista Clima Nº 183- Año 2004. Disponible en web: <[www.acondicionamiento.com.ar](http://www.acondicionamiento.com.ar)>
- ROAF, Sue et.al. *Ecohouse. A Design Guide*. Architectural Press. England 2002.
- ROMDHANE, Ben Slama. *The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer*. Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie, 6029 Gabes, Tunisia. Publicado por science direct Solar Energy 81 (2007) 139–149
- SEIFERT, Richard. *The attached greenhouse*. University of Alaska Fairbanks. Nov. 2006.
- SCHUBERT, Richard. *Fundamentals of Solar Heating*. Prentice Hall. EUA, 1981.
- SITIOSOLAR. *La calefacción solar por colectores de aire*. (ref. 07 de octubre de 2007 en web: <http://www.sitiosolar.com/calefaccion%20solar%20por%20colectores%20de%20aire.htm#comparación>)
- SOLAR ENERGY IRELAND. *Solar air heating systems*. (ref. 19 de agosto de 2007). Disponible en web: <[http://www.solarenergyireland.com/Information/solar\\_air\\_systems.html](http://www.solarenergyireland.com/Information/solar_air_systems.html)>
- SOL I CLIMA. *Energía solar térmica*. (ref. 28 de julio de 2007). Bomba de calor y suelo radiante. Disponible en web: <[www.soliclimate.com](http://www.soliclimate.com)>

- TELKES, Maria. *Thermal storage for solar heating and cooling*. Proceedings of the Workshop on Solar Energy Storage for Heating and cooling of buildings. Charlottesville, Virginia. Abril, 1975
- TEXTOSCIENTIFICOS.COM. *Energía solar*. (ref. 29 de julio de 2007). Calefacción solar como medio de bienestar. Disponible en web: <http://www.textoscientificos.com/energia/solar>
- THERMOSTONE-ALICANTE. *Salud*. (ref. 24 de julio de 2007) Calefacción por radiación y calefacción por convección. Disponible en web: <http://www.thermostone-alicante.com/es/salud.htm>
- UCV, FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO. *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*. Venezuela, 2007. (ref.6 de mayo de 2007). Confort y clima. Disponible en web: <http://fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualconfort.html>.
- UNINET. *Regulación de la temperatura*. (ref. 6 de mayo de 2007) Capítulo 9.3: Síndromes hipertérmicos. Disponible en web: [www.tratado.uninet.edu](http://www.tratado.uninet.edu)
- UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE MADRID. *Radiación solar*. (ref.20 mayo de 2007). Carta solar cilíndrica. Madrid, España. Disponible en web: [www.ies-def.upm.es/ISF/programa\\_2002\\_0303/4\\_RadSolar.pdf](http://www.ies-def.upm.es/ISF/programa_2002_0303/4_RadSolar.pdf)
- UPME. *Atlas de Radiación Solar en Colombia*. (ref. 16 de mayo de 2007). Declinación solar. Disponible en web: [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)
- VASQUEZ, Claudio. *El vidrio*. Arquitectura y técnica. Ediciones ARQ. Santiago, Chile. 2006.
- VAZQUEZ Espí, Mariano. *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. (resumen de la obra Un hilo dorado de Butti & Perlin, 1980). España, 1999.
- WHITMAN, William. *Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado*. Cengage Learning Editores. 2000.