



Universidad de Chile

DIPLOMA DE POSTÍTULO
**DISEÑO DE EDIFICACIONES
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES**

Energías Renovables



APUNTES DE ENERGÍA SOLAR

Prof. Roberto Román L.

Universidad de Chile

roroman@ing.uchile.cl

roroman@ecomaipo.cl

www.ecomaipo.cl

Temario Sesión

En esta sesión abordaremos:

- ▶ **Calefacción con bomba de calor:** teoría básica de bomba de calor. El COP y como puede variar. Como operan. Sistemas de bomba de calor aire/aire.
- ▶ **Bombas de calor "Geotérmicas":** conceptos y ejecución de proyectos. Ventajas y desventajas.
- ▶ **Temperaturas:** radiante efectiva, operativa y temperatura sol aire.
- ▶ **Comfort y temperatura:** efectos de la radiación del entorno en cuanto al confort.
- ▶ **Sistemas solares pasivos:** Conceptos básicos. Clasificación. Relación apertura masa de acumulación. Algunos ejemplos.
- ▶ **Sistemas de intercambio aire/aire:** como método de reducción de carga térmica.
- ▶ **Retscreen y sus aplicaciones:** ventajas y limitaciones del programa. Uso en ejemplo de calefacción, agua caliente sanitaria y bomba de calor geotérmica.

Ejemplo de formación de hielo



Ejemplo de formación de hielo



Mal “set point” de termostato:

El sistema de control es un componente clave en la buena performance de sistemas de climatización. Una mal control puede dar origen a enormes gastos de energía:

- Otro problema típico es que al fijar el termostato con temperaturas muy altas o muy bajas con respecto a lo razonable, se gasta energía en exceso. En especial en climas como los nuestros.
- Una buena temperatura de control interior es de 18°C en invierno y 24 a 25°C en verano.

Veamos a continuación un ejemplo de variación del termostato en dos climas diferentes. Uno europeo, otro muy cálido y el típico clima mediterráneo que existe en Chile

Mal “set point” de termostato:

Caso 1. Clima muy frío europeo. T_ext diurna de -20°C, temperatura interior 18°C:

- **Salto térmico:** 38°C

Si se fija el termostato a 21°C:

- **Salto térmico:** 41°C

Aumento gasto energía: aproximadamente
 $41/38 = 1,079$ (8%)

Mal “set point” de termostato:

Caso 2. Clima chileno. T_{ext} diurna de 10°C ,
temperatura interior 18°C :

- **Salto térmico:** 8°C

Si se fija el termostato a 21°C :

- **Salto térmico:** 11°C

Aumento gasto energía: aproximadamente $11/8$
 $= 1,375$ (38%)

Mal “set point” de termostato:

Caso 3. Clima mediterráneo muy cálido. T_{ext} diurna de 40°C , temperatura interior 21°C :

- **Salto térmico: 19°C**

Si se fija el termostato a 24°C :

- **Salto térmico: 16°C**

Ahorro de energía: aproximadamente $16/19 = 0,842$ (16%)

Mal “set point” de termostato:

Caso 4. Clima Chile verano. T_{ext} diurna de 32°C , temperatura interior 21°C :

• **Salto térmico: 11°C**

Si se fija el termostato a 24°C :

• **Salto térmico: 8°C**

Ahorro de energía: aproximadamente $8/11 = 0,727$ (27%)

Mal “set point” de termostato:

El otro error típico es fijar el termostato muy bajo (o muy alto) para enfriar o calentar más “rápido” un recinto.

El único efecto real es que se gasta más energía.

La capacidad real de enfriamiento (o calentamiento) está dado por el tamaño del equipo. El único efecto del punto de fijación del termostato es la temperatura *final* a la que se tiende.

Se recomienda: que la gente no pueda manipular los termostatos y que se tenga un control inteligente de los sistemas de calor o frío.

Bombas de Calor Geotérmicas:

La bomba de calor clásica intercambian calor entre aire y refrigerante:

- En el evaporador el refrigerante se evapora y absorbe calor del aire ambiente (menor presión).
- En el condensador el refrigerante se condensa y entrega calor al ambiente que lo rodea (mayor presión).

Los problemas se suelen presentar en el evaporador. En particular:

- Condensación de humedad y eventual corrosión.
- Formación de hielo en evaporador y baja eficiencia de intercambio.

Bombas de Calor Geotérmicas:

El *COP* de las bombas baja a medida que la diferencia de temperatura entre lado caliente y lado frío aumenta.

Esto hace que en invierno, en lugares fríos, el *COP* puede deteriorarse mucho.

Además está el hecho de que en verano las bombas expulsan calor hacia el exterior y en invierno se absorbe calor del ambiente interior y se entrega al interior.

Esto hizo que se concibiera la siguiente idea...

Bombas de Calor Geotérmicas:

La tierra tiene una alta capacidad térmica. Entonces, ¿por qué no poner una bomba de calor que en el verano rechace el calor a la tierra que está bajo el edificio, subiendo un poco su temperatura?

Dado que la conductividad de la tierra es baja, entonces se podría almacenar este calor para reutilizarlo en invierno con temperaturas ambiente mucho más baja.

Ventajas:

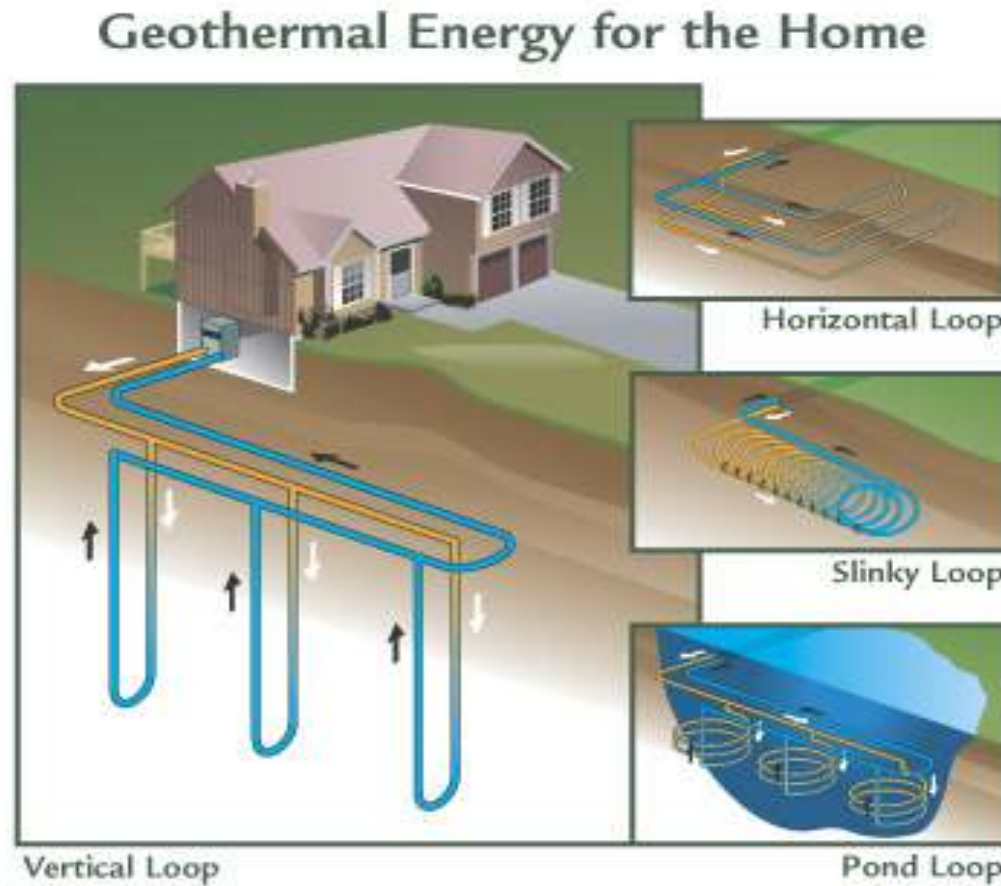
- Mejora el **COP** tanto en verano como invierno.
- Se evita problema de formación de hielo en evaporador.
- Mejora mucho la eficiencia energética anual del sistema.

Bombas de Calor Geotérmicas:

Existen cuatro grandes conceptos diferentes en las llamadas "Bombas de Calor Geotérmicas". Estos son:

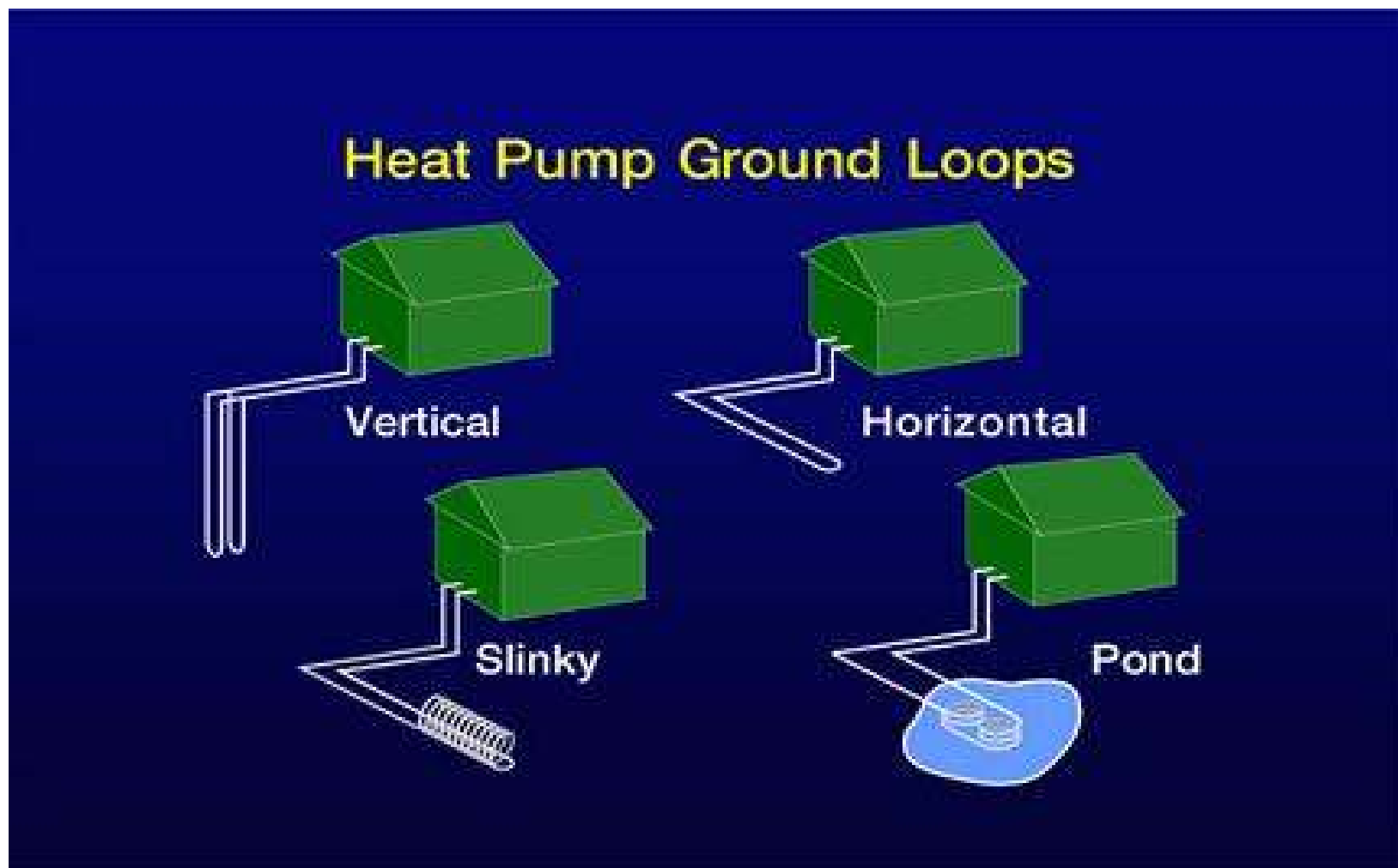
- **Con acumulación en tierra:** se entrega (o saca) el calor directamente a la tierra bajo o cerca de la construcción.
- **Usando napas freáticas:** aquí el intercambio es con agua. Se saca agua de un pozo. La misma es enfriada (o calentada) y luego se reinyecta a un pozo de absorción.
- **Con el uso de agua:** típicamente se usan lagunas o cursos de agua cercanos a la construcción y se aprovecha el hecho de que la oscilación térmica de la masa de agua es mucho más pequeña que la del aire.
- **Sistema "slinky":** son espirales de polipropileno enterrados a poca profundidad. Se aprovecha la masa térmica de la masa de tierra. Tienen ventajas de costo, la desventaja es el terreno que se ocupa.

Bombas de Calor Geotérmicas:



Diferentes esquemas base

Bombas de Calor Geotérmicas:



Diferentes esquemas base

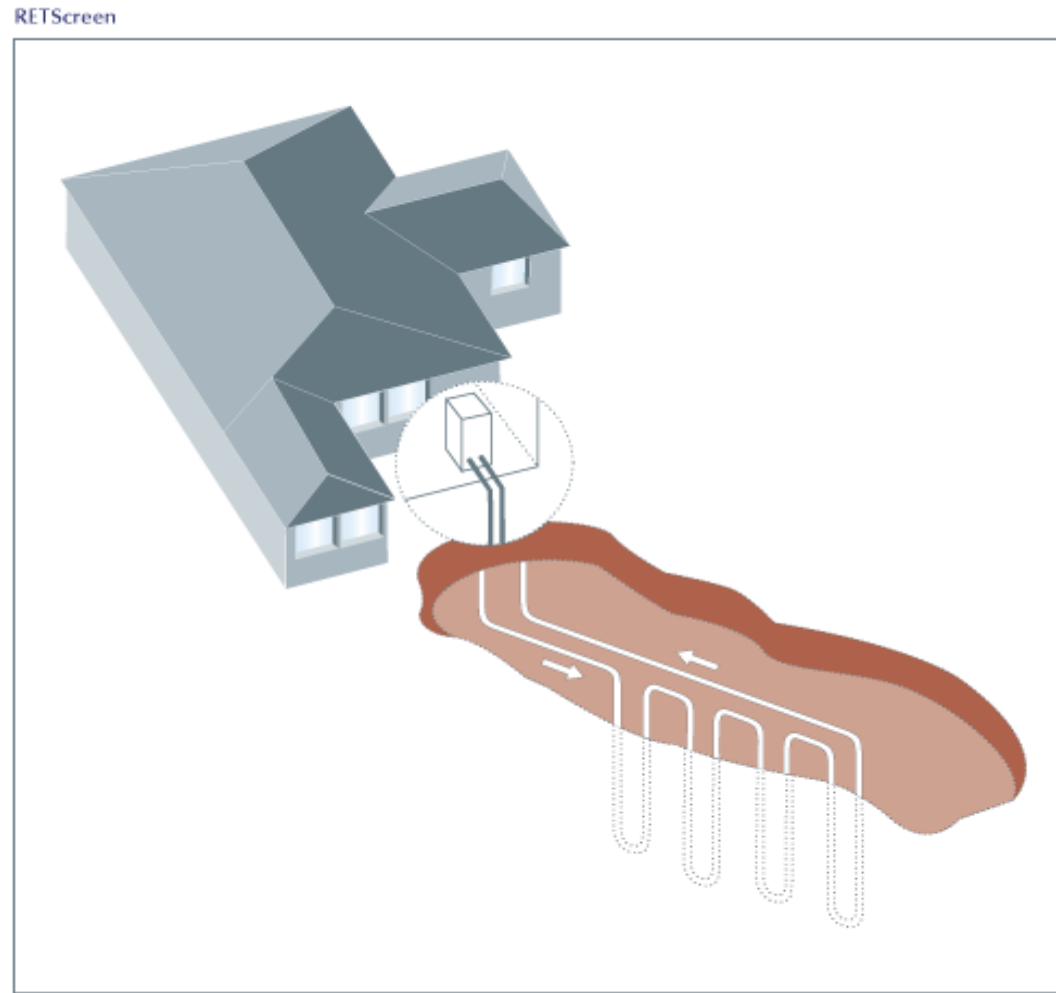
Bombas de Calor Geotérmicas:

Las bombas de calor geotérmico se clasifican conforme al principio de operación. Estas son:

- **Bombas con pozo de extracción en tierra seca:**

- Las mismas tienen un pozo profundo e intercambian calor directamente con la tierra. Su capacidad permite acumular calor desechado en el verano para ser aprovechado en el invierno.
- Pueden instalarse directamente bajo un edificio.
- Se instalan en grupos separadas por al menos 6 a 10 metros entre ejes para no causar interferencia entre ellas.
- Se usan en las instalaciones más complejas y caras.
- Son adecuadas para climas *muy* fríos.

Bombas de Calor Geotérmicas:



Esquema de instalación geotérmica sencilla www.retscreen.net

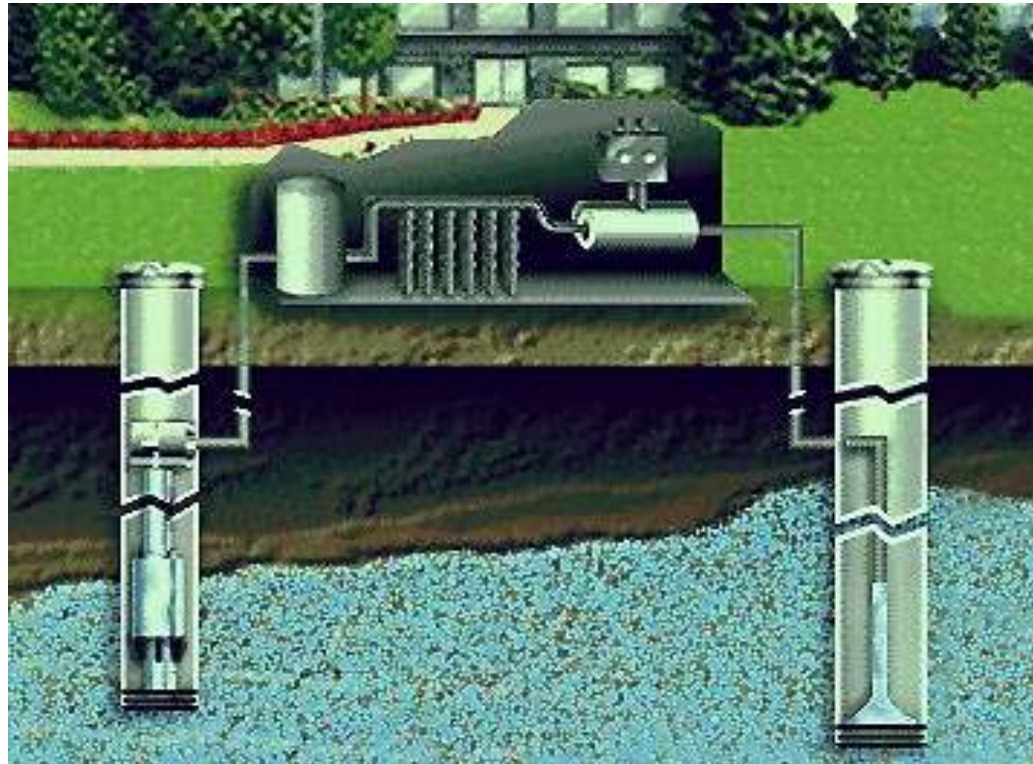
Bombas de Calor Geotérmicas:

Las bombas de calor geotérmico se clasifican conforme al principio de operación. Estas son:

- **Bombas con pozo de extracción e inyección en napas subterráneas:**

- Estas de verdad aprovechan el calor sensible del agua de la napa. Por lo tanto el subsuelo se comporta como una fuente a temperatura constante.
- Tienen un pozo de extracción de agua y un pozo de inyección.
- Típicamente no se necesitan muchos pozos.
- Hay un área de influencia grande que está relacionada con la velocidad de desplazamiento del agua en la napa.
- En casos particulares pueden ser muy convenientes.
- No debe variarse la temperatura de la napa más allá de 3 a 5°C.
- Puede existir problemas con usos vecinos de napa.

Bombas de Calor Geotérmicas:



Esquema de instalación geotérmica sencilla

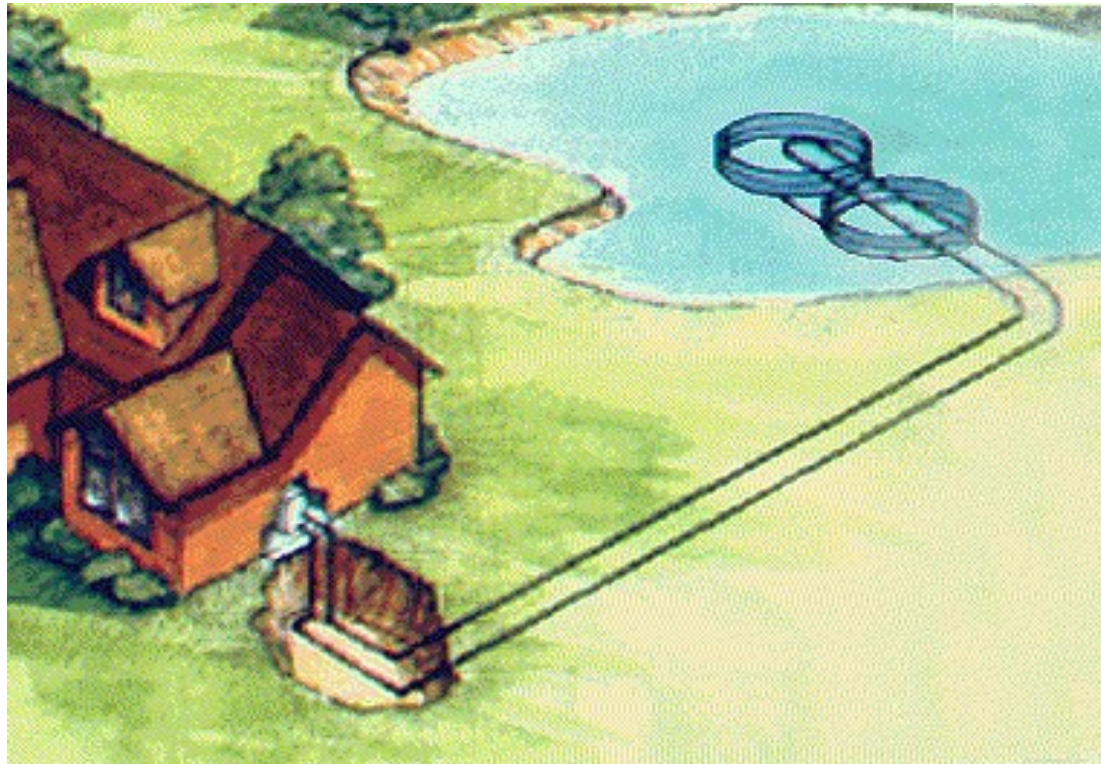
Bombas de Calor Geotérmicas:

Las bombas de calor geotérmico se clasifican conforme al principio de operación. Estas son:

- **Bombas con pozo de extracción e inyección en aguas superficiales (lagunas o ríos):**

- Es similar al caso anterior desde el punto de vista termodinámico.
- Los costos de inversión son inferiores a los otros tipos de instalaciones.
- Se facilita mantención y reparación.
- Hay un área de influencia que debe ser analizada.
- En casos particulares pueden ser muy convenientes.

Bombas de Calor Geotérmicas:



Esquema de instalación geotérmica sencilla

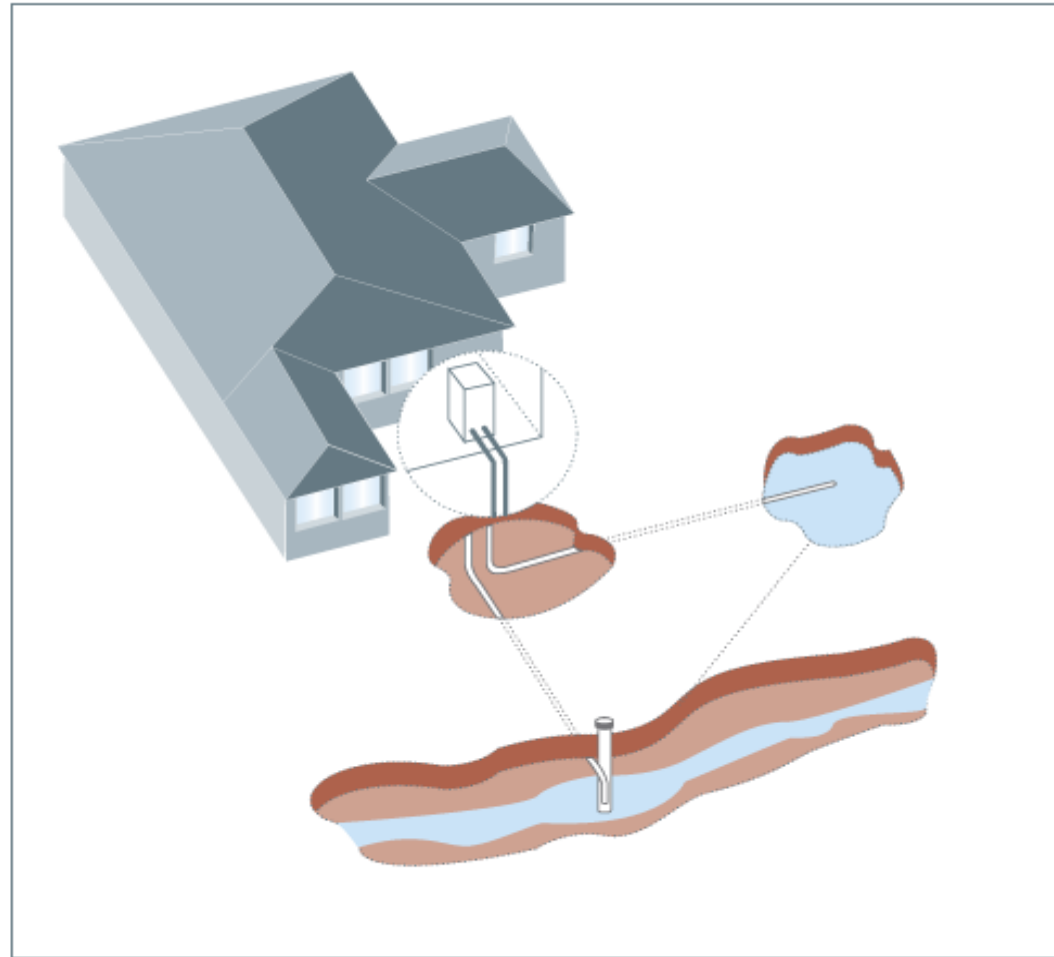
Bombas de Calor Geotérmicas:



Instalación de loop sumergido en una laguna

Bombas de Calor Geotérmicas:

RETScreen



Esquema de instalación geotérmica sencilla www.retscreen.net

Bombas de Calor Geotérmicas:

Las bombas de calor geotérmico se clasifican conforme al principio de operación. Estas son:

- **Bombas con sistema de intercambiadores tipo “slinky” o intercambiadores subterráneos (tipo “slab”):**

- Son intercambiadores de polipropileno o HDP en anillos enterrados bajo tierra a 1,5 a 2 metros de profundidad.
- El tamaño del bloque o “slab” de tierra a remover se determina por la capacidad de intercambio de calor.
- Inversión moderada.
- Hay capacidad de acumulación de un día a otro y cierto aprovechamiento pasivo, pues la temperatura de la tierra tiende a ser la media de la estación.
- Se diseñan con redundancia y existe capacidad de reparación.
- Adecuados para climas fríos y con suficiente disponibilidad de superficie para instalar los intercambiadores.

Bombas de Calor Geotérmicas:



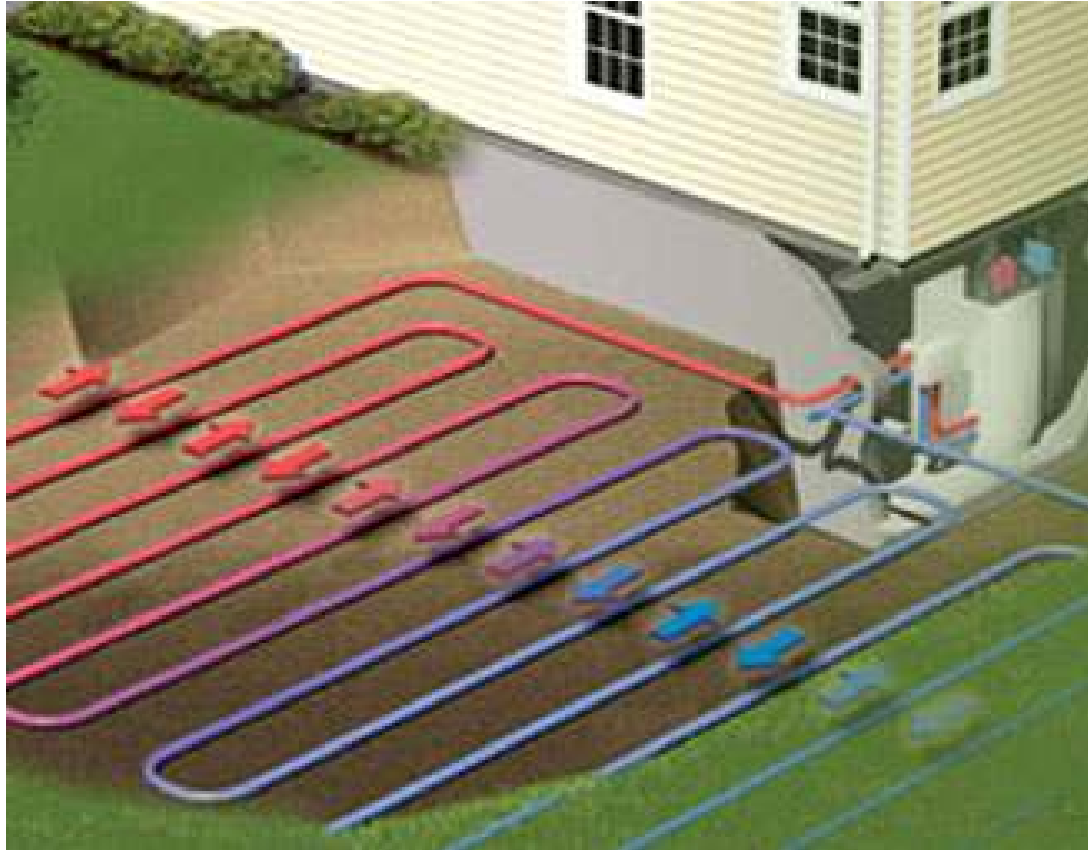
Esquema de instalación geotérmica sencilla

Bombas de Calor Geotérmicas:



Esquema de instalación geotérmica sencilla

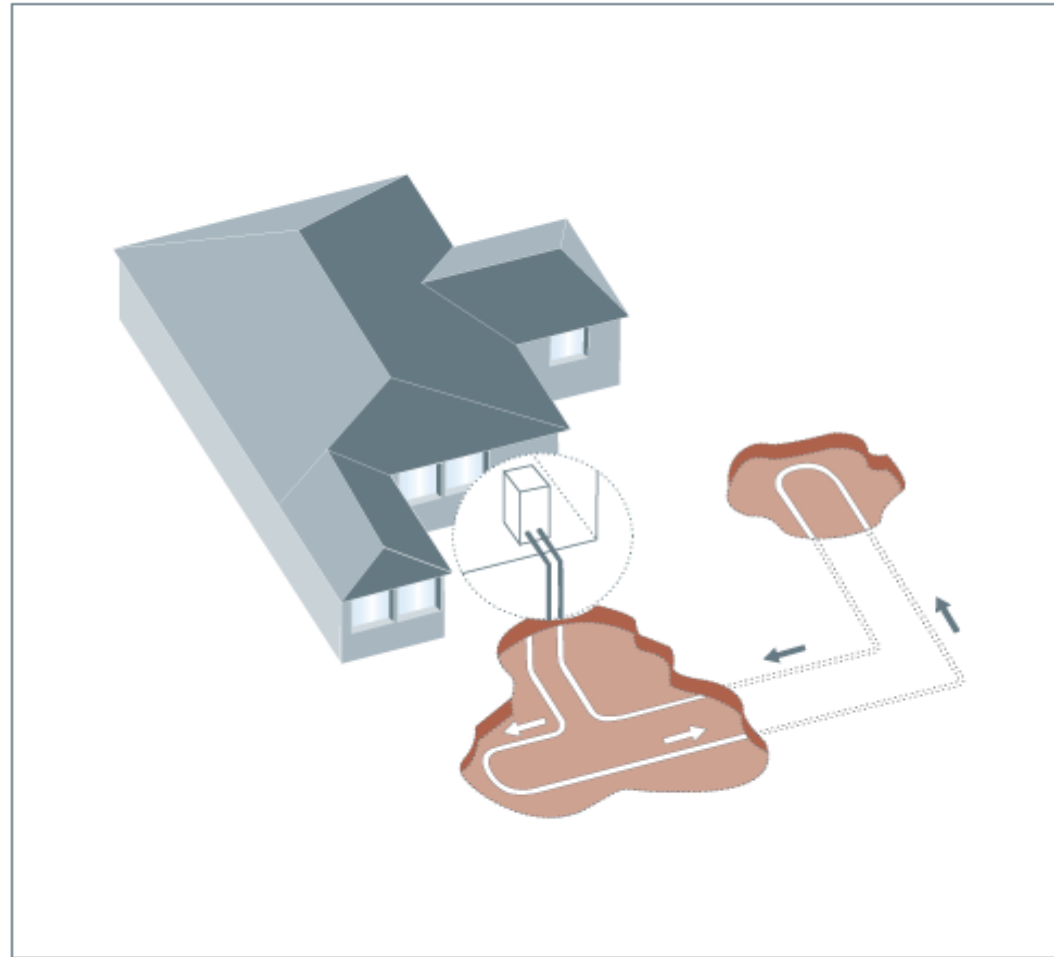
Bombas de Calor Geotérmicas:



Esquema de instalación geotérmica sencilla

Bombas de Calor Geotérmicas:

RETScreen



www.retscreen.net

Bombas de Calor Geotérmicas:

Resumen:

- Conviene aplicar cuando las condiciones ambiente lo exigen. Es decir temperaturas ambiente muy por debajo de 0°C de manera constante.
- También es posible sean convenientes si la temperatura ambiente está entre 0 y 5°C con altas humedades durante las horas de operación.
- En el caso de temperaturas ambientes muy elevadas, constantemente sobre 34 a 37°C en horas de operación, también puede ser conveniente.
- La inversión es *muy* superior a bombas de calor normal.
- En el caso de Chile las zonas donde conviene aplicarlas son limitadas.

Temperaturas:

La temperatura es, conceptualmente, algo sencillo:

- ▶ Se trata de la manifestación *macroscópica* del efecto de la agitación térmica de las moléculas de un cuerpo.
- ▶ Por lo tanto para que exista temperatura debe existir *masa*.
- ▶ No se debe confundir temperatura con energía.

Sin embargo en la práctica el tema se complica pues la agitación de las moléculas puede ser la resultante de los tres mecanismos básicos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Recordemos que *solo* la radiación no requiere de medio material (masa) para su transporte.

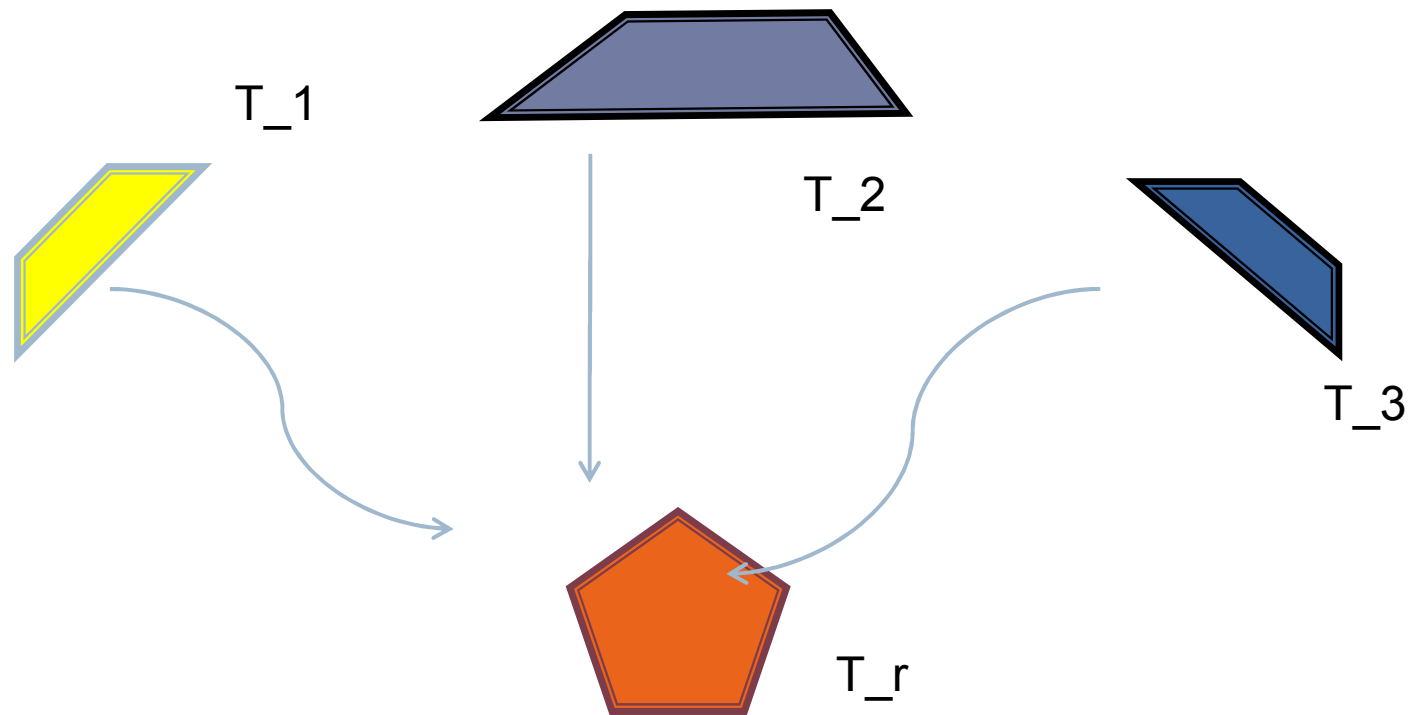
A continuación veamos varias temperaturas importantes...

Temperaturas:

- ▶ **Temperatura de bulbo seco:** es la que indican (deberían indicar) los termómetros. Es decir la temperatura del aire que rodea un termómetro. Para medirla de manera correcta, debe existir un flujo de aire significativo en torno al termómetro (1 a 2 m/s) y además el sensor se debe proteger de los intercambios radiativos. Por ello siempre se habla de *temperatura a la sombra*.
- ▶ **Temperatura de bulbo húmedo:** el sensor del termómetro se recubre con muselina la cual es mojada con agua destilada. Al circular aire en torno al sensor, se evapora agua y por ende la temperatura baja hasta un equilibrio. Este equilibrio tiene que ver con el contenido de humedad del aire. Mientras más seco esté el aire, más baja la temperatura de bulbo húmedo con respecto a la de bulbo seco. Ambas temperaturas permiten determinar la humedad relativa.
- ▶ **Temperatura de rocío:** se determina bajando la temperatura de un cierto mas de aire hasta que alcanza el punto de rocío. Es decir la humedad del aire alcanza la saturación. Se una superficie se empaña o hay condensación en ella, significa que ha alcanzado o está por debajo del punto de rocío.

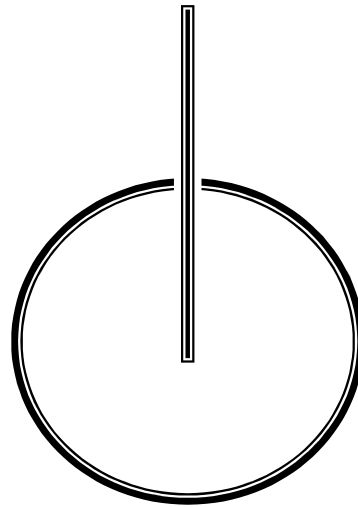
Temperaturas:

- **Temperatura radiante efectiva:** es la que resulta del intercambio radiativo entre el sensor (cuerpo receptor) y todos los cuerpos en su entorno con los cuales intercambia radiación electromagnética infraroja:



Temperaturas:

- ▶ **Temperatura radiante efectiva:** para medirla, se utiliza un bolómetro. Esto es un sensor de temperatura que está rodeado por una esfera negra (interior y exteriormente):



Temperaturas:

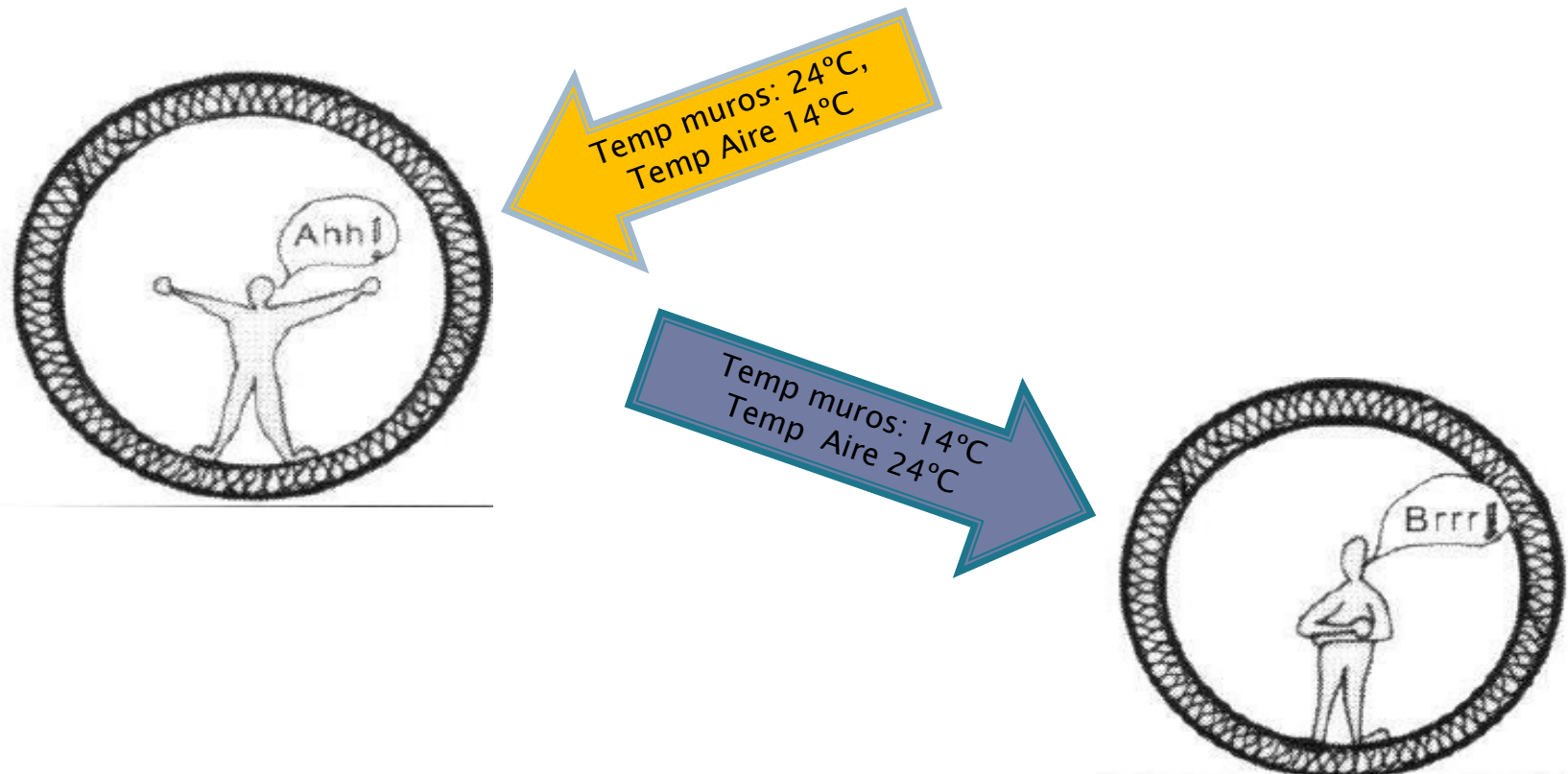
- ▶ **Temperatura operativa:** Corresponde a la temperatura de aire equivalente que produce los mismos intercambios térmicos convectivos y radiativos que con el entorno real. Se puede aproximar como el promedio ponderado entre la temperatura de bulbo seco y la radiante efectiva. Se usa para interiores de estructuras:

$$T_{op} = 0,45 T_s + 0,55 T_r$$

La radiación es sumamente importante desde el punto de vista de definición del comfort. Lo vemos en el siguiente ejemplo:

Confort y Temperatura:

- **Temperatura radiante del entorno:** es clave al momento de establecer confort. La sensación de confort está mucho más ligada al entorno radiante que a la temperatura del aire



Sistemas Solares Pasivos:

Repasaremos rápidamente algunos de los conceptos básicos asociados a los diferentes tipos de sistemas solares pasivos. Además les dejaré copia de un manual básico.

Lo primero a no olvidar es que cualquier sistema pasivo debe tener un sistema de *ganancia térmica* (solar) y la correspondiente *masa térmica de acumulación*. Si no hay masa térmica de acumulación, las temperaturas oscilarán de manera excesiva e incluso se podrá *ampliar* la oscilación térmica con respecto al exterior.

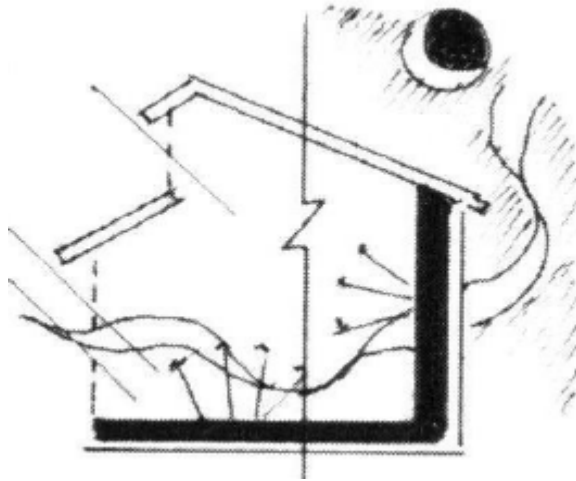
Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia directa:** la radiación penetra al espacio a climatizar. Pueden ser con acumulación distribuida o acumulación concentrada.
- ▶ **Ganancia indirecta:** en este caso la radiación solar se absorbe en el exterior del recinto a climatizar. El acople es por conducción a través de la masa de acumulación (y luego radiación) y también puede ser por convección. El ejemplo más clásico es el Muro Trombe.
- ▶ **Ganancia aislada:** en este caso el sistema de ganancia es exterior al recinto a climatizar. Hay varios enfoques diferentes.

A continuación veremos esto de manera gráfica.

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia directa:** la radiación penetra al espacio a climatizar. Pueden ser con acumulación distribuida o acumulación concentrada.

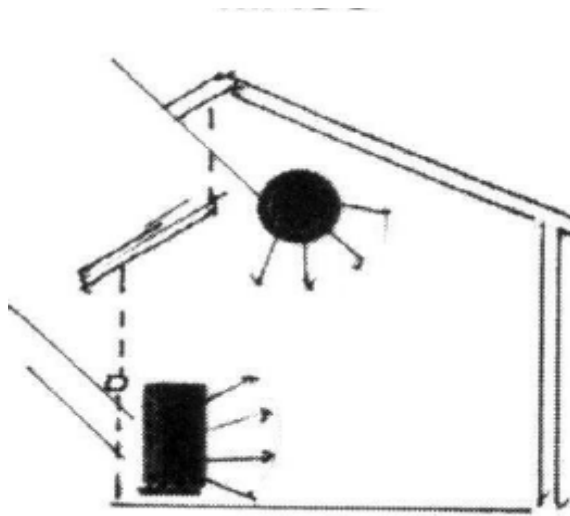


Con acumulación distribuida son buenos en lugares con baja intensidad de radiación y pueden servir para calefaccionar y refrescar. Se combina usualmente con aislación nocturna

Respuesta en la mañana es rápida. Es óptimo para ventilación nocturna cuando se desea refrescar

Sistemas Solares Pasivos:

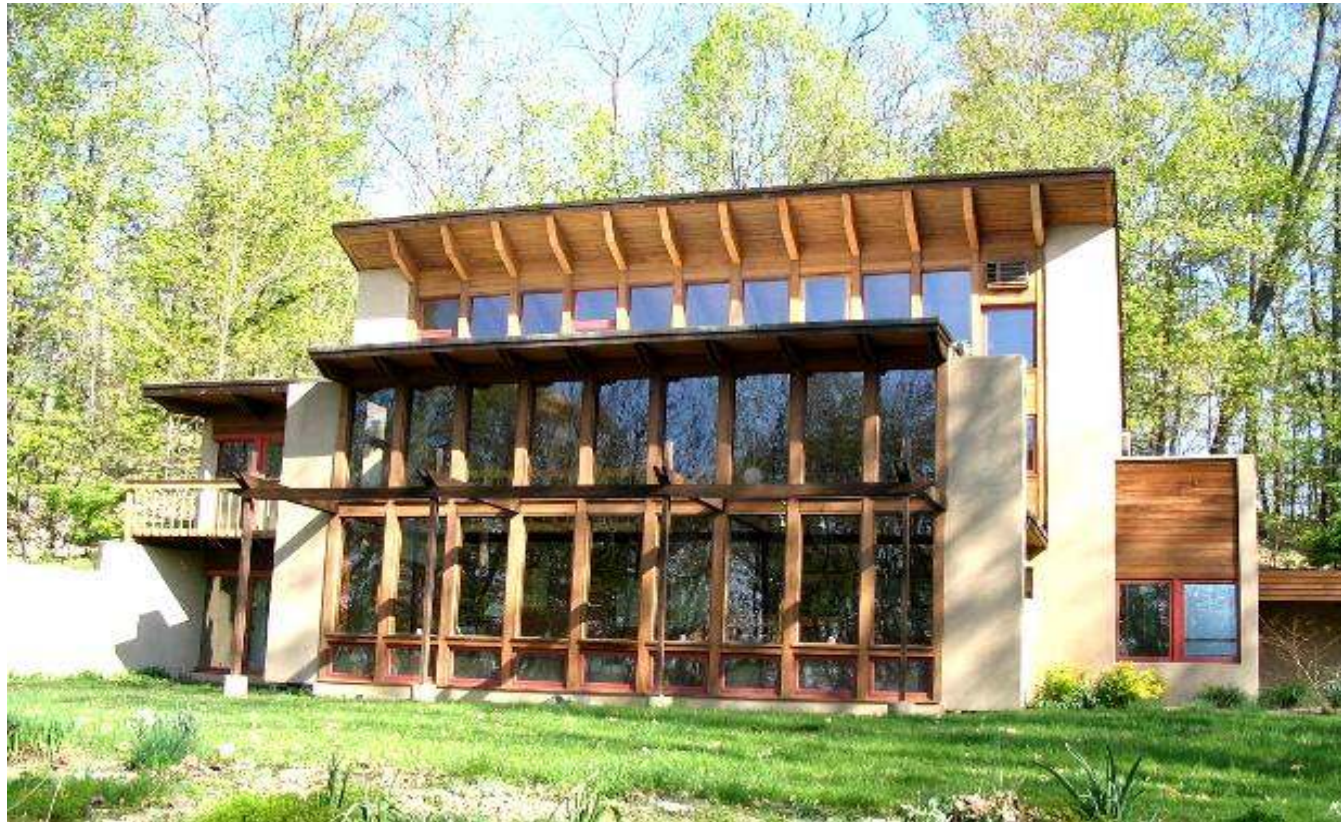
- ▶ **Ganancia directa:** la radiación penetra al espacio a climatizar. Pueden ser con acumulación distribuida o acumulación concentrada.



Con acumulación concentrada es mejor para lugares donde predomina la carga de calefacción. Se debe usar acumulación más eficiente. Aquí típicamente muros de agua. Buena respuesta en las mañanas. Debe usarse aislación nocturna.

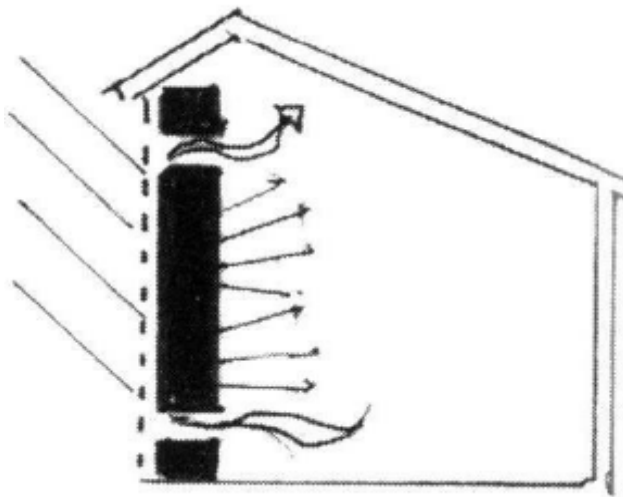
Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia directa:** son los más sencillos de realizar, pero los más complejos de diseñar. Tiene que existir un muy buen conocimiento de masas térmicas, acople con la radiación, problema de brillo solar y problema de pérdidas nocturnas. Aptos para climas nublados.



Sistemas Solares Pasivos:

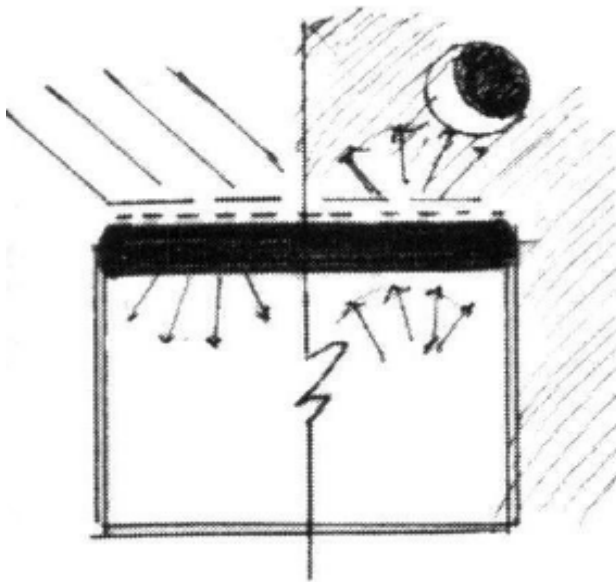
- ▶ **Ganancia indirecta:** aquí hay dos grandes tipos. El muro Trombe (con y sin ventilación) y los acumuladores en los techos ("roof ponds").



El muro Trombe es bueno en lugares donde predomina la demanda de calefacción. Si se ponen troneras de ventilación mejora la respuesta en las mañanas. Pueden ponerse ventanas a través del muro o en espacios adicionales. Con buena aislación la fachada que mira al Ecuador no necesita más de 50% de superficie activa para la mayor parte de los climas.

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia indirecta:** aquí hay dos grandes tipos. El muro Trombe (con y sin ventilación) y los acumuladores en los techos ("roof ponds").



Los sistemas con acumulación en techo son buenos para lugares más cerca del Ecuador. Normalmente se usa agua por alta capacidad térmica de la misma. Se pueden usar para calentar o refrescar. Debe usarse aislación térmica móvil en el techo.

Hay un problema estructural no menor, pues el espesor del acumulador es del orden de 10 a 20 centímetros, lo que implica carga de 100 a 200 kg/m².

Sistemas Solares Pasivos:



- **Ganancia indirecta:** Foto de la cabaña original del Dr. Félix Trombe. Aún en uso. Su casa personal, con mejor aislación solo tiene un 25% de fachada captora.

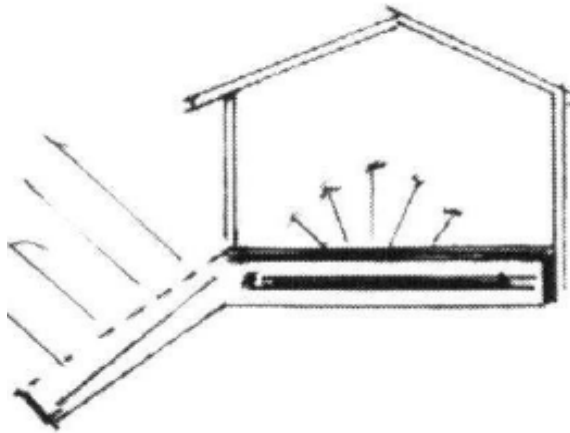
Sistemas Solares Pasivos:



- ▶ **Ganancia indirecta:** Casa Solar La Ola, en operación desde 1984. Sigue operativa.

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia aislada:** en este caso la captación de energía está separada del uso. Nuevamente hay sistemas con acople por termosifón entre colectores y uso (requiere terreno adecuado) y otras soluciones.

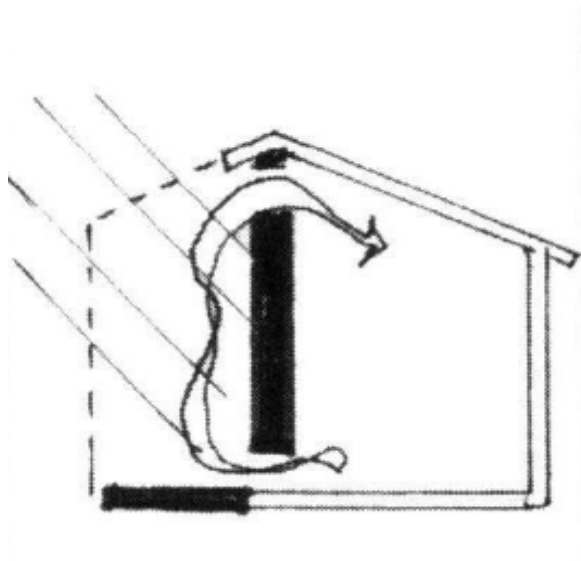


El sistema por termosifón es muy elegante, pero requiere un terreno adecuado y muy buena ingeniería. No es sencillo de lograr.

Es más simple pensar en sistemas híbridos o activos con esta solución.

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ **Ganancia aislada:** en este caso la captación de energía está separada del uso. Nuevamente hay sistemas con acople por termosifón entre colectores y uso (requiere terreno adecuado) y otras soluciones.



La solución de invernadero adosado, con o sin acople convectivo entre el espacio de ganancia y espacio a climatizar es mucho más sencillo que el termosifón. Se puede trabajar de manera más simple el diseño y con mucha mayor flexibilidad en cuanto a soluciones.

El mayor problema es tener buen control de la temperatura en el espacio invernadero.

Sistema de Ganancia Aislada



Sistema de invernadero adosado

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ Veamos algunos valores generales de superficie de captor versus superficie de acumulación para diferentes condiciones climáticas

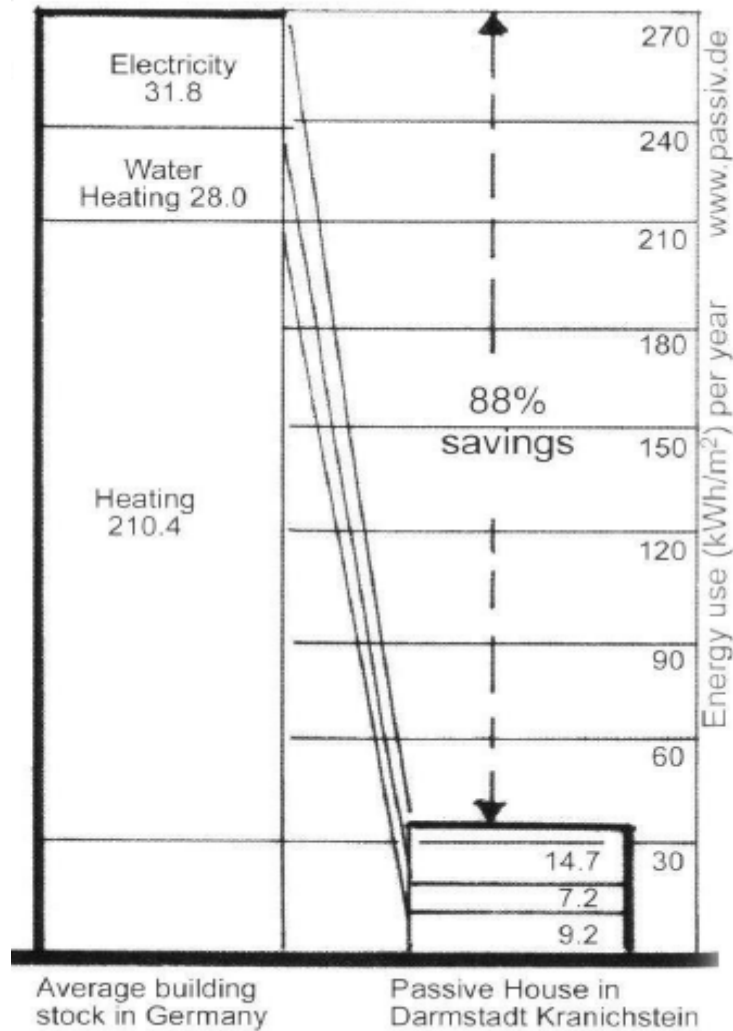
Clima	Carga Térmica	% Apertura/ % superficie	Area de masa térmica c.r a área de captor	
			Ac. Agua	Ac. masa
Muy frío	Solo calefacción	10 a 20	4 a 6	5 a 10
Frío	Solo calefacción	10 a 25	4 a 6	6 a 11
Templado	Calefacción y refrescar	14 a 20	3 a 5	8 a 12
Templado	Caleff. Y refresc equilibrados	9 a 15	2 a 4	5 a 9
Templado	Refrescar y algo caleff.	8 a 13	2 a 3	8 a 12
Tropical seco	Refrescar y muy poca caleff.	6 a 11	0,5 a 1	10 a 14
Tropical húmedo	Solo enfriar	0	0	0

Sistemas Solares Pasivos:

- ▶ Notas con respecto a la Tabla:
 - ▶ Las superficies de apertura son hacia el Ecuador.
 - ▶ La masa térmica se supone es de 0,22 m de espesor usando agua y 0,05 m de concreto.
 - ▶ Para climas muy fríos se ha considerado una envolvente con super aislación, más intercambiadores de calor aire/aire.
 - ▶ El mismo supuesto se ha dado para climas fríos.
 - ▶ Los sistemas pasivos son aplicables a todos los climas, no solamente los climas templados. Si se usaran de manera extensiva, el ahorro sería enorme.

La información que hemos usado se ha extraído del Passive Solar Energy Handbook de la *ISES (International Solar Energy Society)*, edición 2009.

Potencial de ahorro con técnicas pasivas:

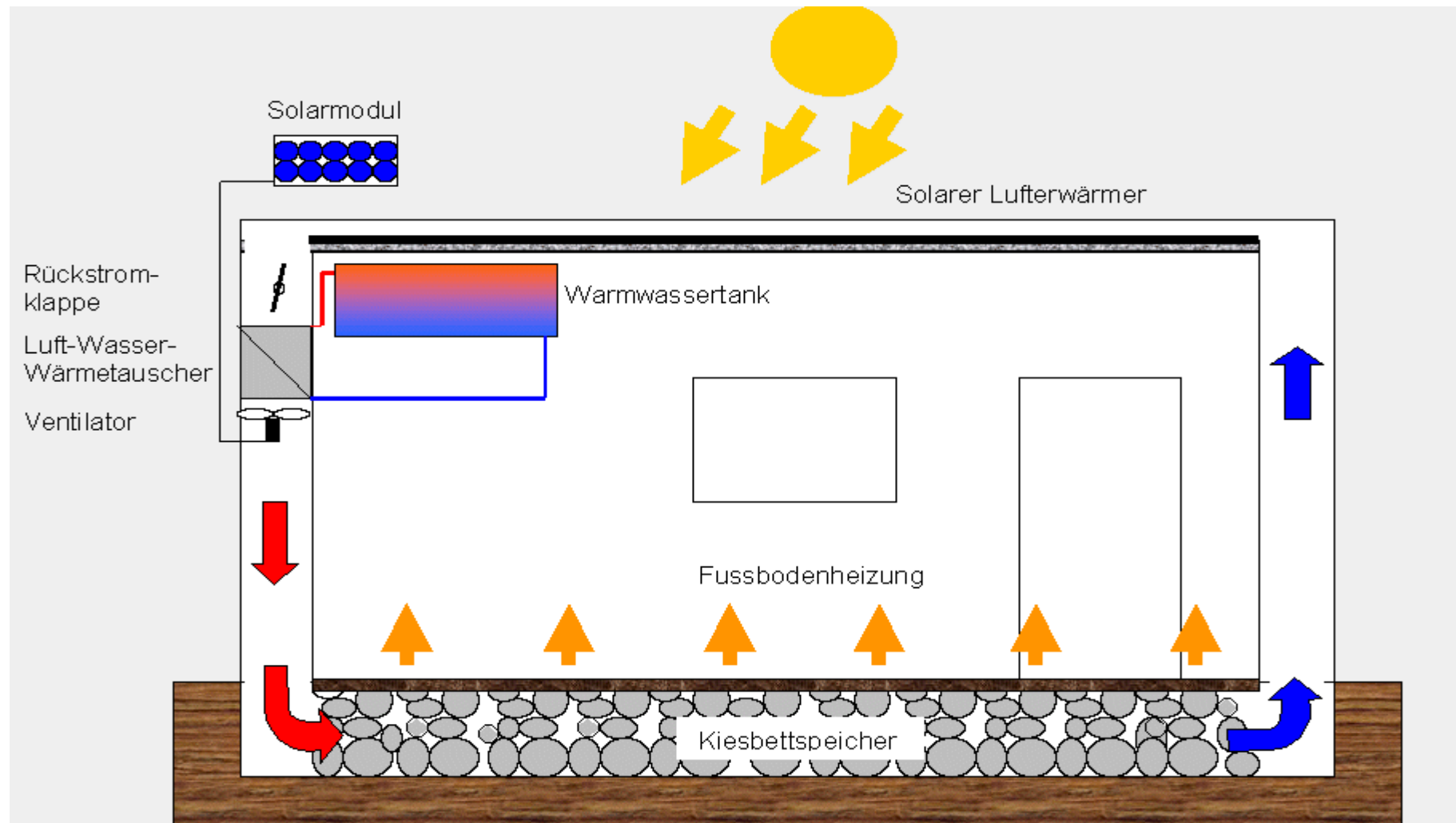


- ▶ En Alemania el potencial de ahorro es 88% de la demanda energética solo por sistemas pasivos.
- ▶ Calefacción pasa de 210,4 a 9,2 [kWh/m² año] (95,6% ahorro).
- ▶ Calentamiento de agua de 28 a 7,2 [kWh/m² año] (74% ahorro).
- ▶ Y demanda eléctrica de 31,8 a 14,7 [kWh/m² año] (53,7% ahorro).

Sistemas Solares Activos:

- ▶ **Bajo costo:** también es posible el diseño de sistemas activos de muy bajo costo. En ellos típicamente se usa aire como fluido de transferencia de calor.
- ▶ Veremos un proyecto ejecutado en la Puna de Jujuy (Argentina). Lo realizó el Instituto Solar de Jülich

Sistema de Calentamiento de Parvulario



El nuevo Kindergarten



Intercambiadores de calor aire/aire:

Aspectos básicos:

No olvidemos que en cualquier construcción las cargas térmicas básicas son:

- Transmisivas por la envolvente (muros, ventanas, techo, pisos).
- Por radiación (ganancia directa a través de muros y claraboyas, ganancia IR indirecta por calentamiento solar de superficies externas [y mala aislación térmica]).
- Cargas latentes (deshumectación de aire exterior o interior [en este segundo caso por ganancias de humedad internas]).
- Cargas por convección, debido a infiltraciones y/o renovación de aire.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Aspectos básicos:

Cualquier diseño consciente aborda primero los aspectos de eficiencia para minimizar *todas* las cargas que existen. Esto se debe abordar de manera sistemática.

No tiene mucho sentido tratar de aportar soluciones *novedosas* si existen fallas de diseño previas.

En particular las infiltraciones deben limitarse y estar estrictamente controladas.

Cuando esto último ocurre, entonces las pérdidas/ganancias térmicas debido a la ventilación pasan a ser un aspecto muy relevante del diseño y carga total.

Intercambiadores de calor aire/aire:

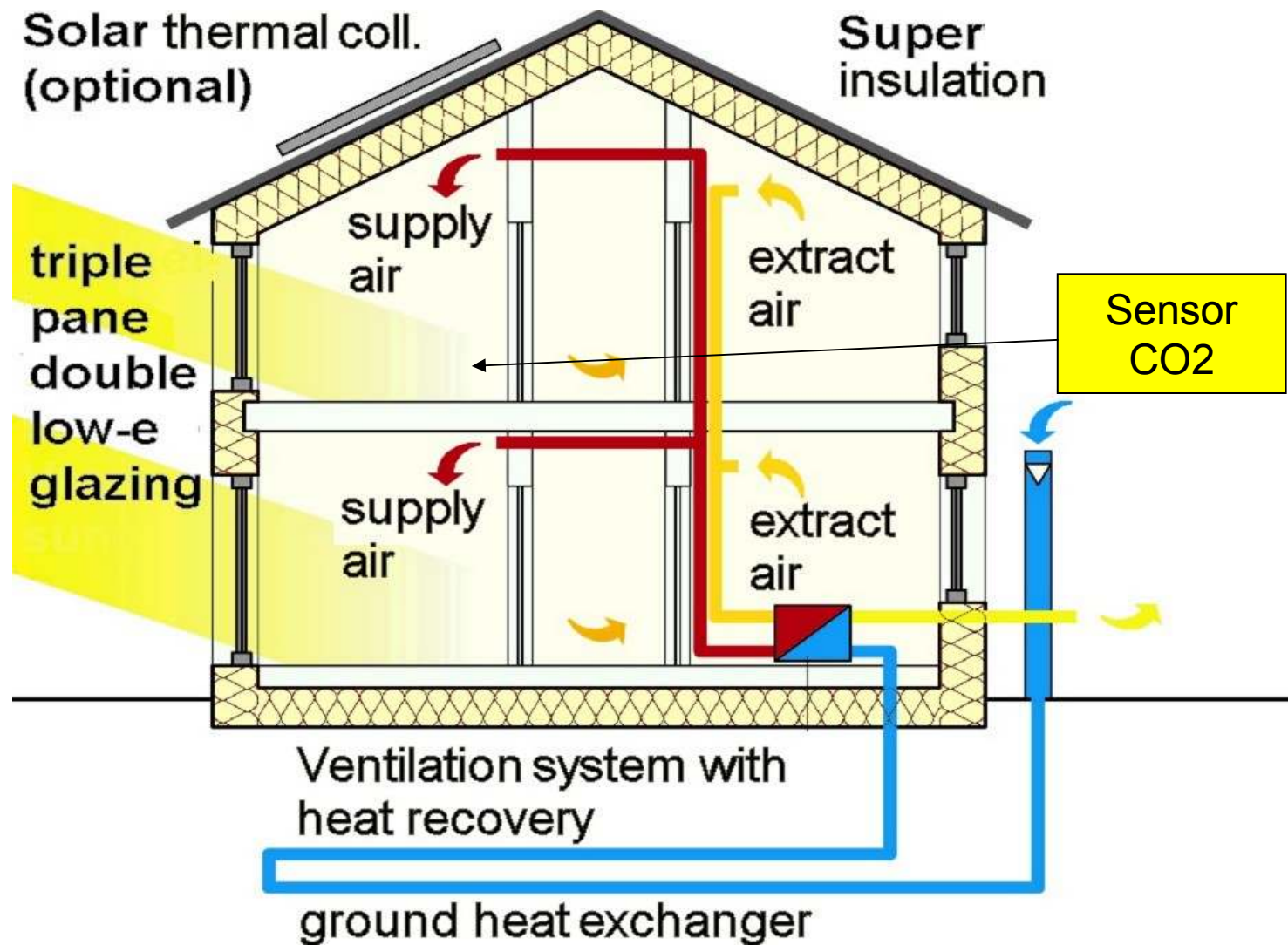
Aspectos básicos:

Entonces, si la carga de ventilación es significativa dentro de la carga total (digamos, más del 20 a 30%) y además está *controlada*, entonces comienza a tener mucho sentido el sistema de intercambiadores de calor aire/aire.

Esquemáticamente la instalación ideal podría adoptar un diseño como el que se aborda en la siguiente figura.

En ese caso incluso se considera intercambio con tierra (lo que acarrea algunos problemas a considerar)...

Intercambiadores de calor aire/aire:



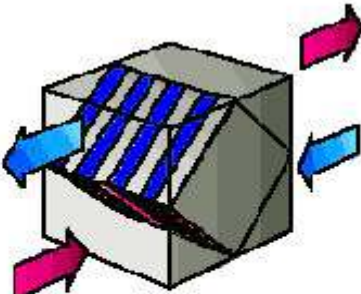
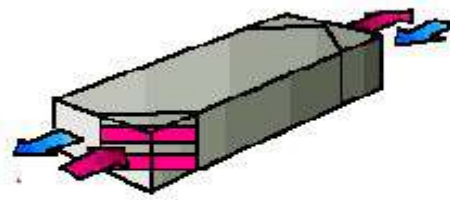
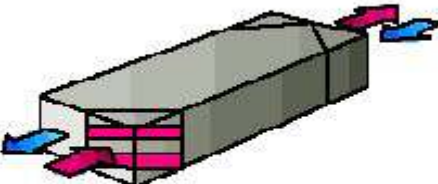
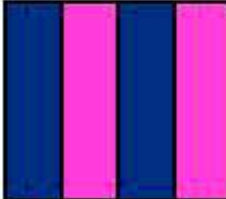
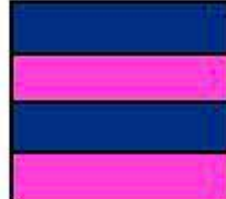
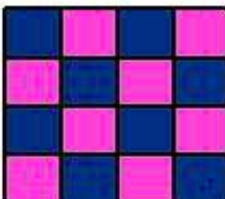
Intercambiadores de calor aire/aire:

Tipos de intercambiadores:

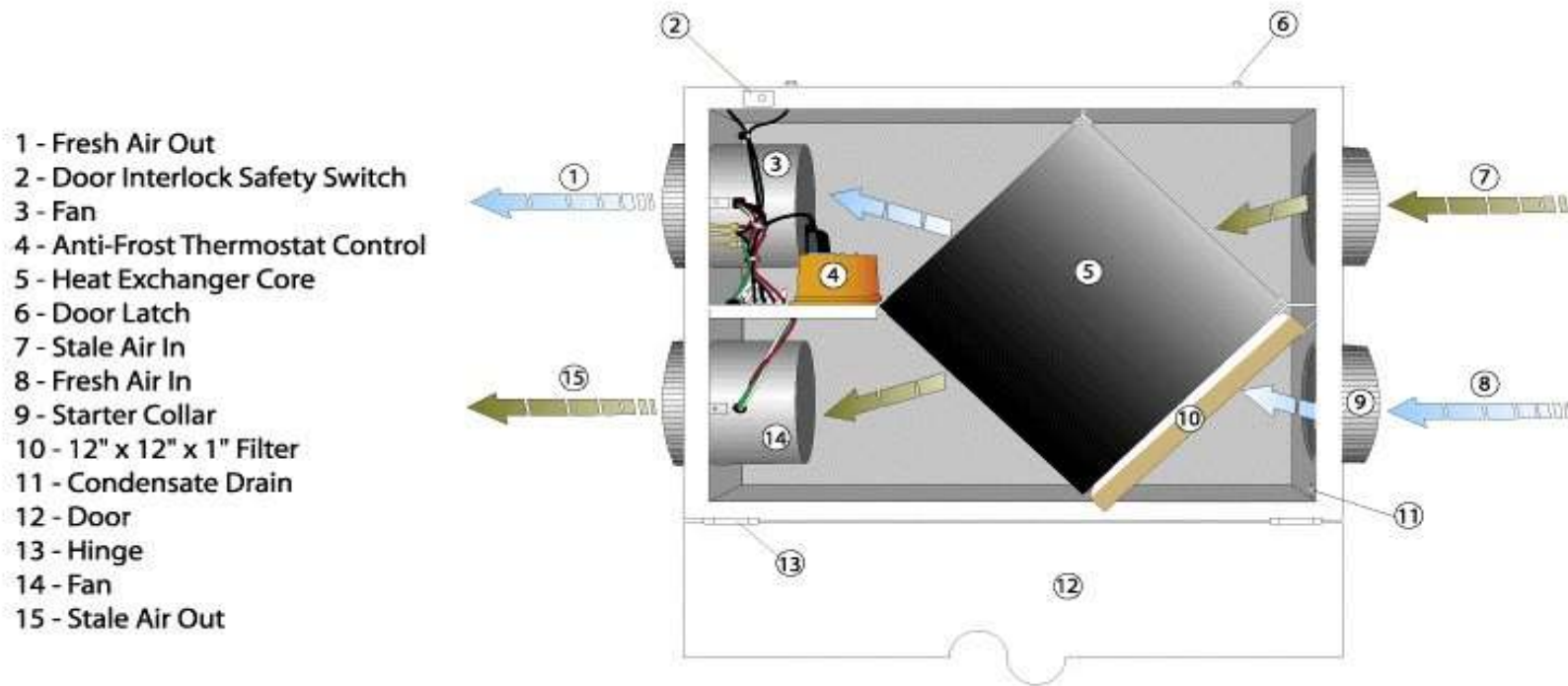
Los mismos tienen las siguientes configuraciones básicas:

- Todos deben tener flujo a contracorriente para maximizar eficiencia.
- Existen con módulos de placa vertical, placa horizontal y de tipo celular.
- En la siguiente figura se ilustran y además se indican las eficiencias térmicas aproximadas.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Principle			
Profile			
Counter current Heat exchanger	Vertical flat plate	Horizontal flat plate	Cellular
Efficiency	50 - 70 %	70 - 80 %	85 - 99 %

Intercambiadores de calor aire/aire:



Aquí vemos un esquema de un equipo real para uso doméstico.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Technical specifications heat pump						
Model		VN-250TE	VN-350TE	VN-500TE	VN-800TE	VN-1KTAE
Air flow (h/l)	m ³ /h – l/s	250/170 – 70/48	350/280 – 98/78	500/370 – 140/104	800/650 – 224/182	1000/810 – 218/227
Temperature exchange efficiency (h/l)	%	75/77	75/77	75/77	75/77	75/77
Sound pressure level (h/l)						
Heat reclaim mode	dB(A)	28/21	32/26	34/25	39/32	38.5/31
Bypass mode	dB(A)	28/22.5	32/26	34/26.5	38.5/33	39/31.5
Operating range	°C	–10 to 40°C	–10 to 40°C	–10 to 40°C	–10 to 40°C	–10 to 40°C
Power Input (h/l)						
Heat reclaim mode	W	119/79	154/117	214/151	347/302	445/332
Bypass mode	W	119/79	151/113	210/145	337/297	438/326
Enthalpy exchange efficiency (h/l)						
Heating	%	70/73	69/71	67/71	71/74	71/73
Cooling	%	63/66	66/69	62/67	65/68	65/68
Max.. external static pressure (h/l)	Pa	90/37	95/42	105/38	140/70	90/35
Dimensions (H x L x D)	mm	270 × 599 × 882	270 × 804 × 882	270 × 904 × 962	388 × 884 × 1322	388 × 1134 × 1322
Weight	kg	29	37	43	71	83
Duct diameter	mm	150	150	200	250	250
Filtration efficiency grade (EU3)	%	82	82	82	82	82
Power supply	V-ph-Hz	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50	220/240-1-50
Maximum relative humidity	%	85	85	85	85	85

Este es el rango de equipos para un fabricante en particular (Toshiba).

Intercambiadores de calor aire/aire:

Diferencias entre HRV y ERV:

Los sistemas se clasifican en dos grandes familias:

- Los **HRV** (Heat Recovery Ventilators) recuperan solo el calor *sensible* del flujo de aire que se expulsa. El núcleo del intercambiador es típicamente metálico (por ejemplo delgadas paredes de aluminio).
- Los **ERV** (Enthalpy Recovery Ventilators) permiten el intercambio de *calor y humedad* entre el flujo entrante y flujo saliente. El núcleo del intercambiador es típicamente en material permeable al vapor de agua (por ejemplo papel tratado).

Intercambiadores de calor aire/aire:

Diferencias entre HRV y ERV:

Cuando conviene uno u otro:

- Los **HRV** (Heat Recovery Ventilators) sirven bien en climas mediterráneos y secos en invierno/verano. Son más sencillos y tienen menos problemas de mantención.
- En el caso de Chile, son recomendables casi siempre.
- Los **ERV** son adecuados en climas húmedos. Así se reduce la humedad del aire que entra, por medio de la menor humedad del aire que se expelle. Los núcleos duran menos y requieren mayor matención.
- En Chile es poco probable que sean adecuados.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Eficiencias de los equipos:

Podemos definir dos tipos de eficiencias:

La eficiencia en *temperaturas*, es decir cuanto del salto de temperatura aprovechable es recuperado.

Y también la eficiencia *entálpica*, es decir cuanto de la entalpía del flujo de aire que se expulsa es recuperada.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Eficiencias de los equipos:

Definamos algunos términos:

Temperaturas: T_{ext} , amb externa; T_{int} , amb interior; T_{rec} , salida recuperador.

Caudales: m_{ext} , caudal de aire exterior; m_{int} , caudal de aire interior, m_{mayor} , caudal mayor de aire.

Entalpías: H_{ext} , entalpía aire exterior; H_{int} , entalpía aire interior; H_{rec} , entalpía aire salida recuperador.

Intercambiadores de calor aire /aire:

Eficiencias de los equipos:

La eficiencia en *temperaturas*, es decir cuanto del salto de temperatura aprovechable es recuperado.

$$\eta_T = \frac{T_{rec} - T_{ext}}{T_{int} - T_{ext}}$$

$$\eta_T = \frac{\dot{m}_{ext} \times (T_{rec} - T_{ext})}{\dot{m}_{mayor} \times (T_{int} - T_{ext})}$$

La eficiencia en temperatura se mueve en el rango del 75 a 80%, valores mayores para calentamiento y menores para enfriamiento.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Eficiencias de los equipos:

La eficiencia entálpica, es decir cuanto del salto de entálpico aprovechable es recuperado.

$$\eta_H = \frac{\dot{m}_{ext} \times (H_{rec} - H_{ext})}{\dot{m}_{mayor} \times (H_{int} - H_{ext})}$$

La eficiencia entálpica se mueve en el rango del 60 a 70%, valores mayores para calentamiento y menores para enfriamiento.

Intercambiadores de calor aire/aire:

Conclusiones con respecto al punto:

Los intercambiadores de calor aire/aire permiten recuperar hasta un 80% del aire que se expulsa en la ventilación.

Por lo tanto pueden ahorrar una cantidad del orden del 50 a 60% de la carga de aire externa.

Si al sistema se le suma muy buena aislación térmica y elementos de ganancia pasiva, se puede ahorrar más de un 90% de la carga de calefacción con respecto a construcción “normal”.

Intercambiadores de calor aire /aire:

Conclusiones con respecto al punto:

Son muy adecuados para viviendas y oficinas.

En lugares de ocupancia masiva también son aprovechables. Sin embargo, cuando la cantidad de personas es muy grande, normalmente el problema no es calefaccionar, sino refrigerar.

Es altamente recomendable incorporar ventilación a velocidad variable asociada a un control especializado, por ejemplo con sensores de tiempo, humedad y/o CO2.

Conclusiones:

Sistemas Solares Térmicos Activos:

- Muy adecuados para agua caliente sanitaria. En Chile deberían cubrir no menos de 60% de demanda anual (para casi todo el territorio).
- Menos adecuados para el caso de calefacción (por magnitud de demanda). Se *pueden* usar en calefacción si:

1. Se realiza una optimización térmica de vivienda en primer lugar.
2. El sistema de entrega de calor usa baja temperatura (por ejemplo serpentines de piso radiante).
3. Existe suficiente masa térmica en la estructura, de manera de minimizar (o eliminar) el acumulador ad-hoc.

Sistemas Solares Fotovoltaicos:

- Van a comenzar a ser una realidad en el corto plazo, apenas aparezca sistema de net-metering. Puede ser solución muy buena para reducir demanda eléctrica de verano.

Conclusiones:

Sistemas Solares Térmicos Pasivos:

- Muy adecuados para calefacción en gran parte de Chile. No son sencillos de implementar en Norte Grande por trayectorias del sol. Tienen la enorme ventaja de simplicidad y durabilidad. Sí requieren:

1. Una optimización térmica de vivienda en primer lugar. Esta debe ser muy acuciosa.
2. Un muy cuidadoso diseño térmico del sistema (incluyendo simulaciones). Es clave ver como se comporta en situaciones extremas (verano, otoño, secuencia de días malos en invierno).
3. No son muy adecuados para construcciones de ocupancia masiva. Es caso más complejo a analizar.

Pero los *principios fundamentales* que guían el diseño pasivo son aplicables a cualquier construcción. Bien aplicados, aseguran mejora habitabilidad.

Conclusiones:

Bombas de Calor y Sistemas “Geotérmicos”:

La bomba de calor es solución muy buena para climatizar (especialmente refrigerar). También se pueden usar como:

1. Apoyo en calefacción. Debe tener respaldo térmico. El ideal es con sistemas de losa radiante, pues permite evitar que funcione la bomba a horas de baja temperatura.
2. Apoyo en generación de ACS. Complementado con sistemas solares. No opera muy bien a temperaturas sobre 45°C.
3. Costo de inversión moderado, vida útil de 8 a 10 años.

Los sistemas *Geotérmicos* solo son aplicables en casos especiales. Usualmente la inversión es muy elevada en relación al beneficio.

Además, los que acumulan en tierra requieren superficies de terreno importantes.

Conclusiones:

Sistemas “Geotérmicos”:

Típicamente el único que podría dar números económicos atractivos es aquel que utiliza agua como fuente de calor.

Solo considerar en climas *muy* fríos en el caso de Chile.

Conclusiones:

Intercambiadores Calor Air/Aire:

Aún en fase muy incipiente en Chile. Muy poco disponible en el mercado.

1. Son la clave para viviendas o construcciones que se acerquen a demanda de energía casi cero.
2. Ideales para recintos con alta ocupancia, sobre todo en caso calefacción (salas de clases, recintos de espera, viviendas).
3. Deben manejarse (idealmente) con sensores de CO₂ para lograr ventilación variable.
4. Son sencillos tecnológicamente, es factible su construcción en Chile.

Gracias...