



Universidad de Valladolid

EL AISLAMIENTO TÉRMICO EN LA EDIFICACIÓN

**Mecanismos físicos involucrados en la transmisión
del calor**

2 de Diciembre de 2014, Valladolid



CellMat, *Condensed Matter Physics Department,
University of Valladolid, Spain*



- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**



Objetivos e introducción



Objetivo

Hacer un repaso general de los mecanismos físicos que operan durante la transmisión del calor o en paralelo a ésta.

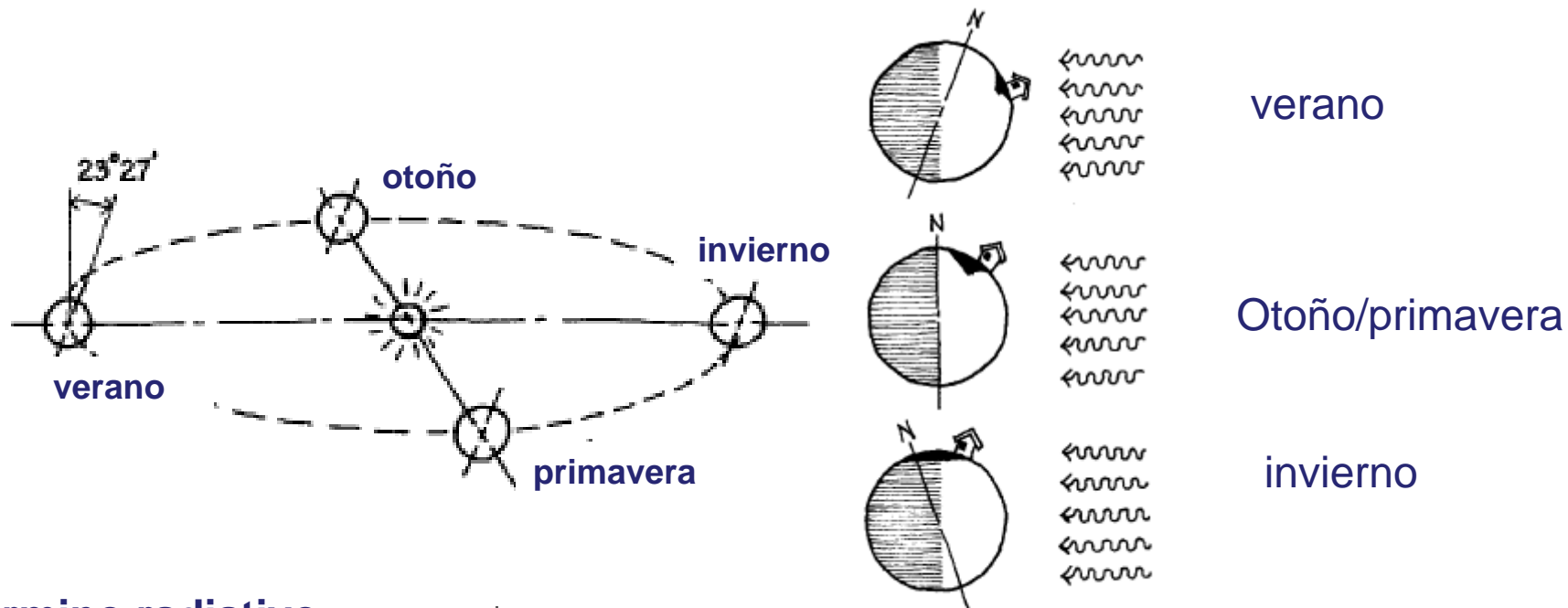
- 🌡️ **Conducción**
- 🌡️ **Convección**
- 🌡️ **Radiación**
- 🌡️ **Efecto de la humedad relativa**



Objetivos e introducción



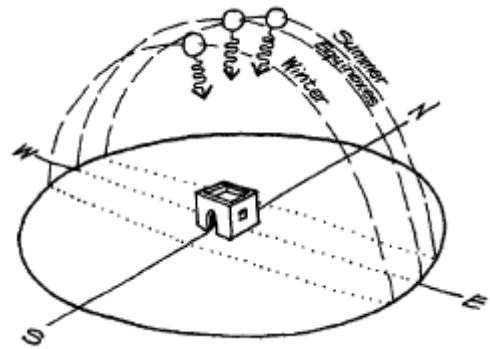
Hacer un repaso general de los mecanismos físicos que operan durante la transmisión del calor o en paralelo a ésta.



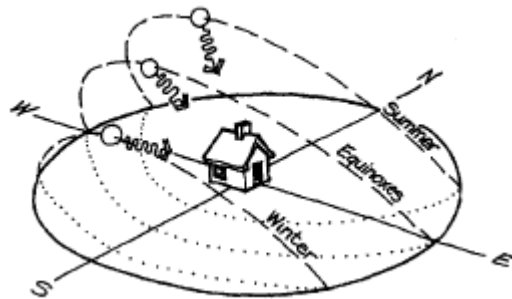
Término radiativo



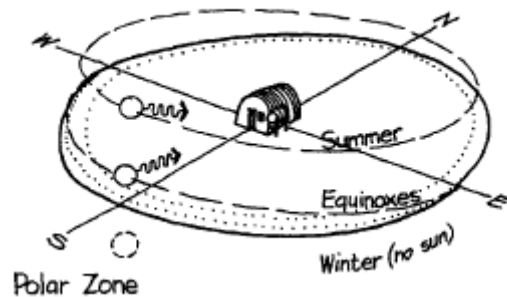
Objetivos e introducción



ecuatorial



Latitud intermedia



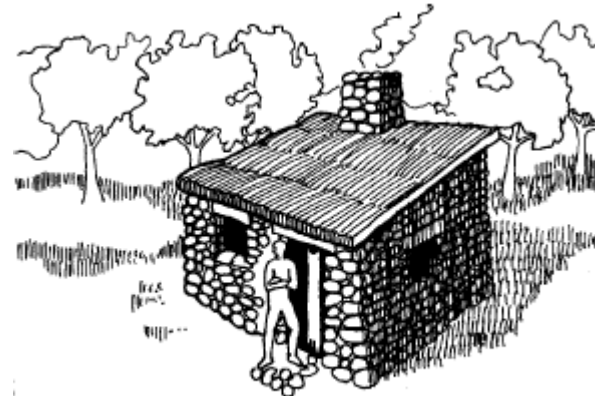
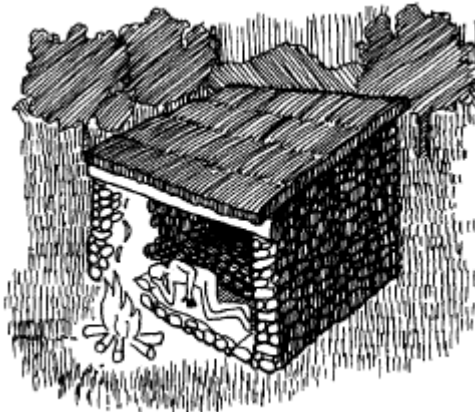
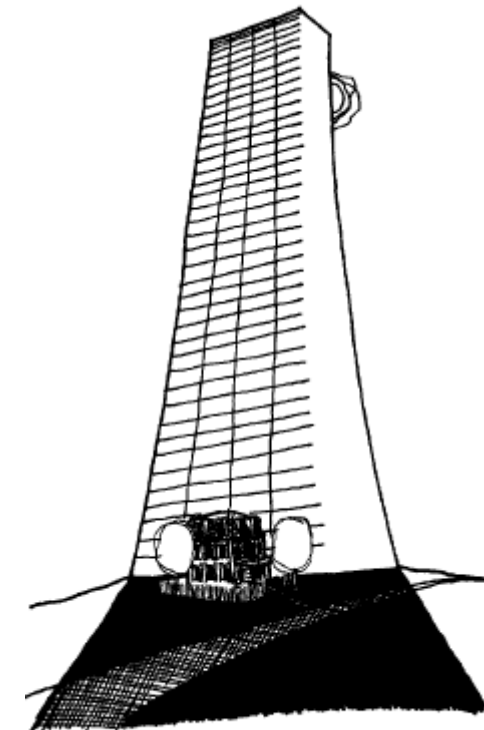
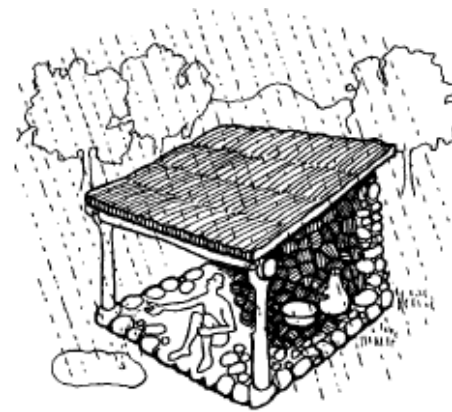
polar



Los desequilibrios de irradiación entre diferentes latitudes alimentan el motor “atmosférico”



Objetivos e introducción



El concepto de refugio





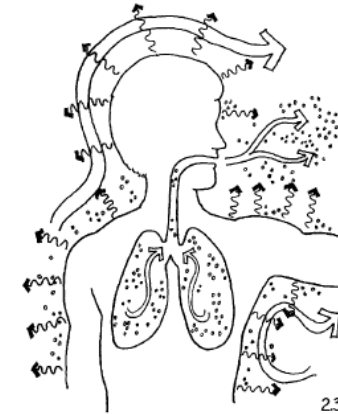
- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**





Factores relacionados con la sensación de bienestar térmico

- **Radiación térmica**
- **Temperatura del aire**
- **Humedad relativa**
- **Movimiento del aire**
- **Propiedades térmicas de las superficies en contacto directo con el cuerpo**



En edificios estos 5 factores son fuertemente dependientes unos de otros

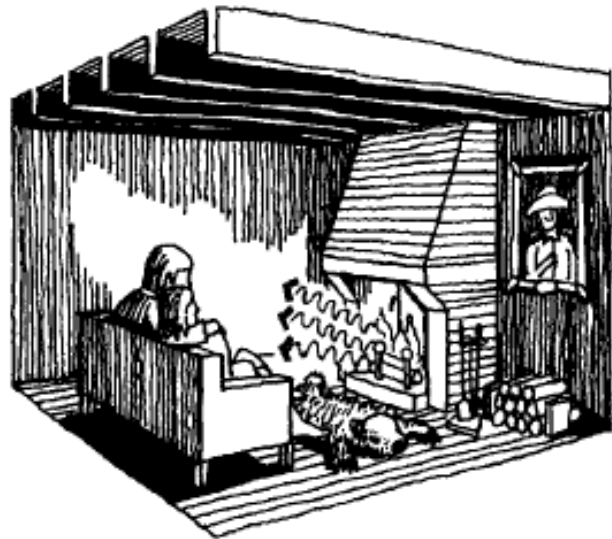
Conjuntamente configuran la “**Sensación térmica**”



La sensación térmica: “confort térmico”



Medios pasivos vs medios activos



Se espera de un edificio que cree las condiciones de confort térmico:

Mediante el control de:

- **la temperatura media radiante**
- **la temperatura del aire**
- **Las características térmicas de las superficies en contacto con el cuerpo humano**
- **La humedad del ambiente**
- **La circulación del aire**





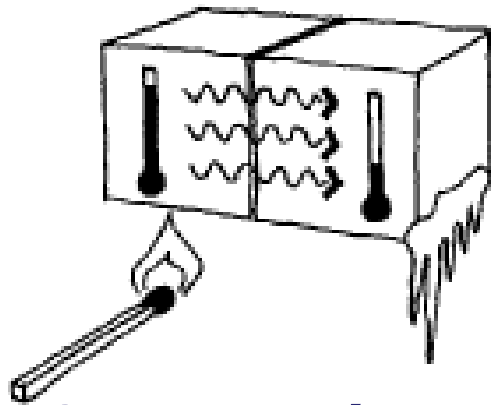
- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**



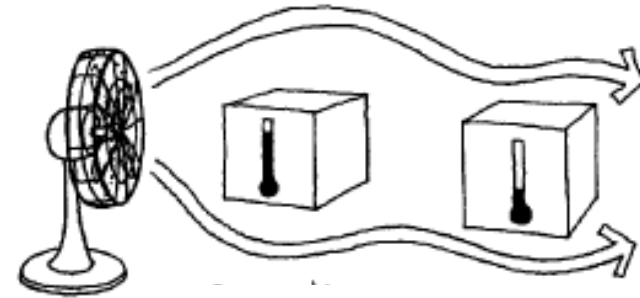
Mecanismos básicos de intercambio de calor



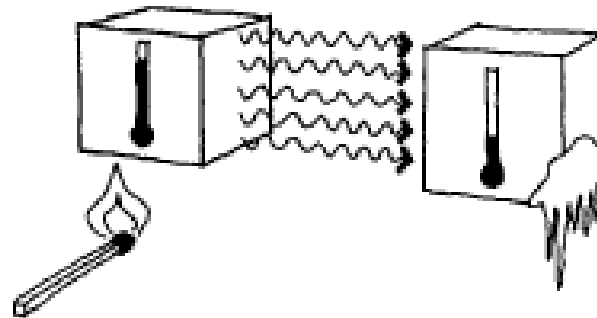
Mecanismos



Conducción



Convección



Radiación



Mecanismos básicos de intercambio de calor



CONDUCCIÓN

Mecanismo de transferencia de calor entre dos cuerpos que tiene lugar mediante la difusión de la energía vibracional de las moléculas

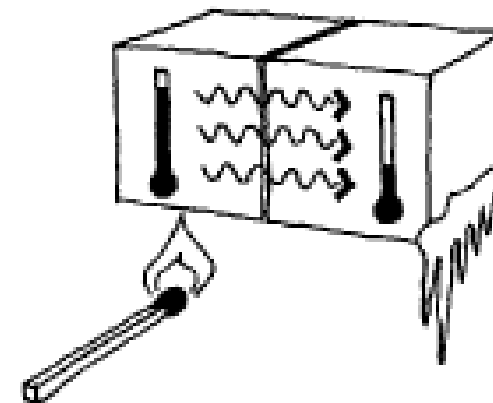
Requiere un **soporte físico** y **contacto** entre los dos sistemas.

Material	Resistencia Térmica (m^2K/W)
25 mm aluminio	0.00012
25 mm madera de pino	0.23
100 mm ladrillo	0.14
200 mm hormigón	0.16
90 mm fibra de vidrio	1.96
150 mm fibra de vidrio	3.38
25 mm espuma de poliestireno	0.76
25 mm espuma de poliuretano	1.06
Cristal simple 6 mm	0.16
Cristal doble (6+16 mm AIRE)	0.32
Cristal triple	0.50
Pared bien aislada	2.7-3.4

Ley de Fourier

La velocidad de intercambio de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre los dos cuerpos

Conductividad térmica
Resistencia térmica



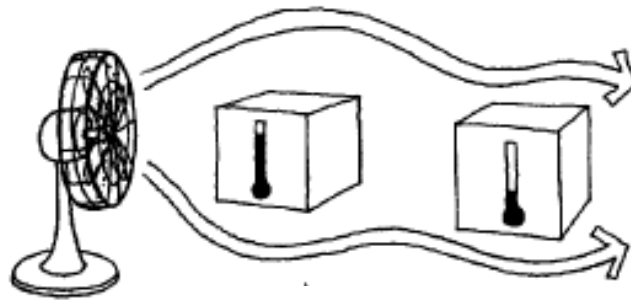


CONVECCIÓN

mecanismo de transferencia calorífica que tiene lugar en el seno de fluido debido a los movimientos de masa del mismo

Requiere un soporte físico pero no un contacto directo entre los dos cuerpos.

La convección puede ser natural (debida a las variaciones de densidad que provocan las diferencias de temperatura) o forzada.



Convección

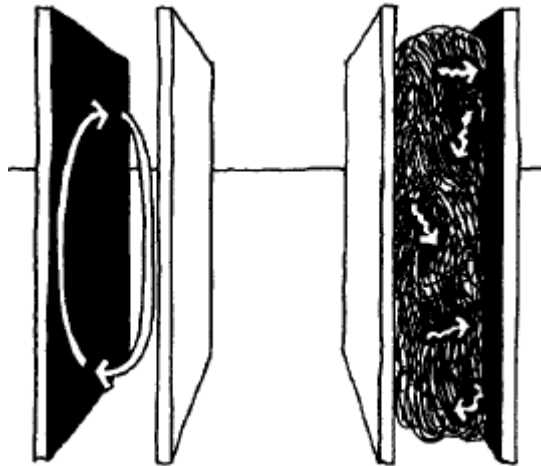
Ley de enfriamiento de Newton

La velocidad de intercambio de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el fluido.

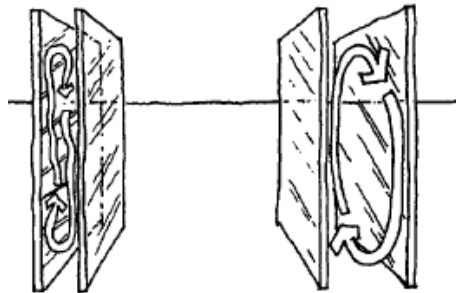
coeficientes de película.



Mecanismos básicos de intercambio de calor



El aire es un buen aislante si evitamos que se mueva (para evitar la transferencia de calor por convección)



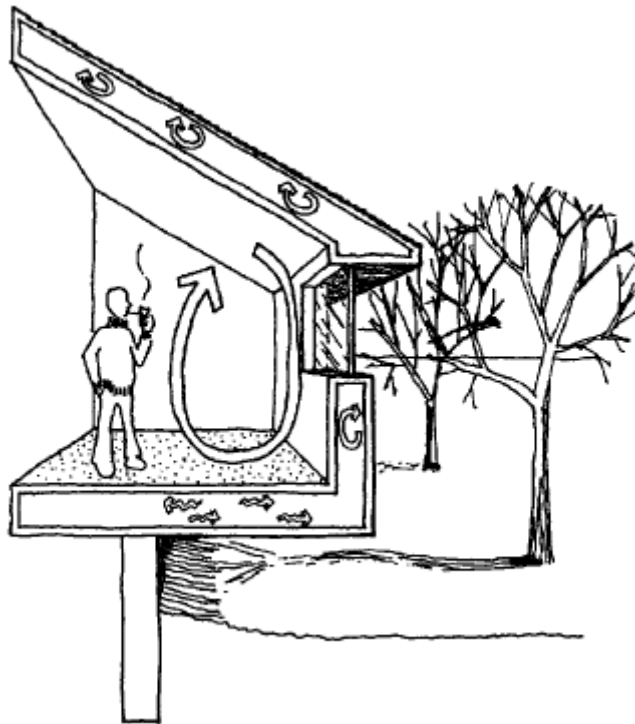
Los patrones de transferencia de calor por convección también están presentes en las ventanas de doble cristal, lo que condiciona el espesor de la capa de aire intermedia.



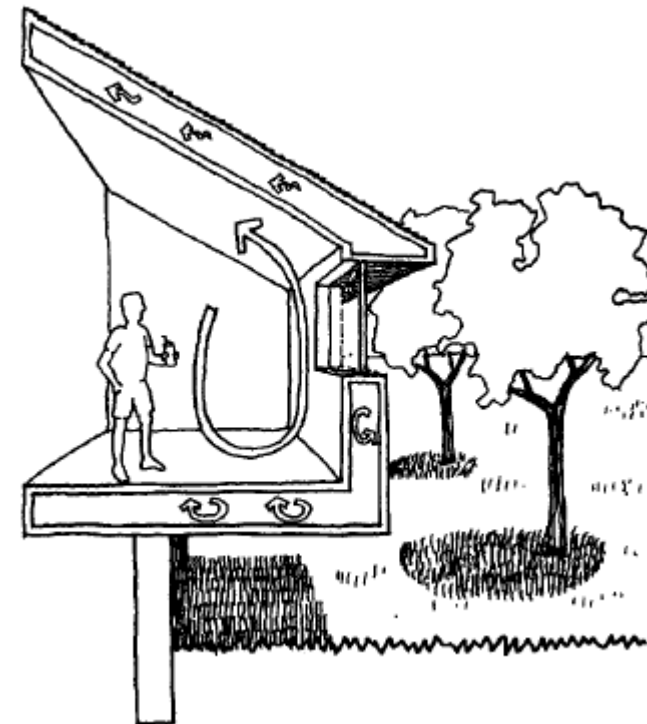
Mecanismos básicos de intercambio de calor



La circulación natural en espacios cerrados cambia entre invierno y verano



Invierno: atención al tejado



verano

Es necesario estudiar cuidadosamente los patrones de convección en espacios cerrados para evitar sorpresas





Tenemos conocimiento documentado de su uso en época romana.

No es fácil caracterizar el intercambio de calor mediante convección. Es necesario simular mediante análisis numérico.

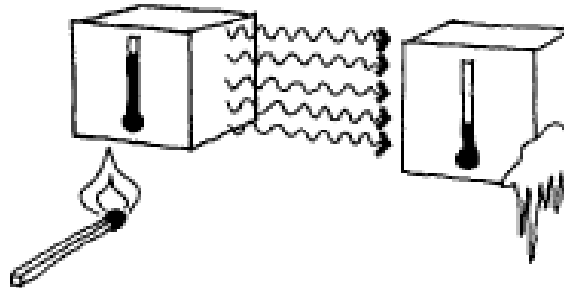




RADIACIÓN TÉRMICA

Proceso de emisión de energía de un sistema por medio de ondas electromagnéticas.

La radiación no requiere soporte físico (actúa en el vacío), de hecho es un problema muy serio en satélites. No requiere contacto físico entre los cuerpos involucrados.

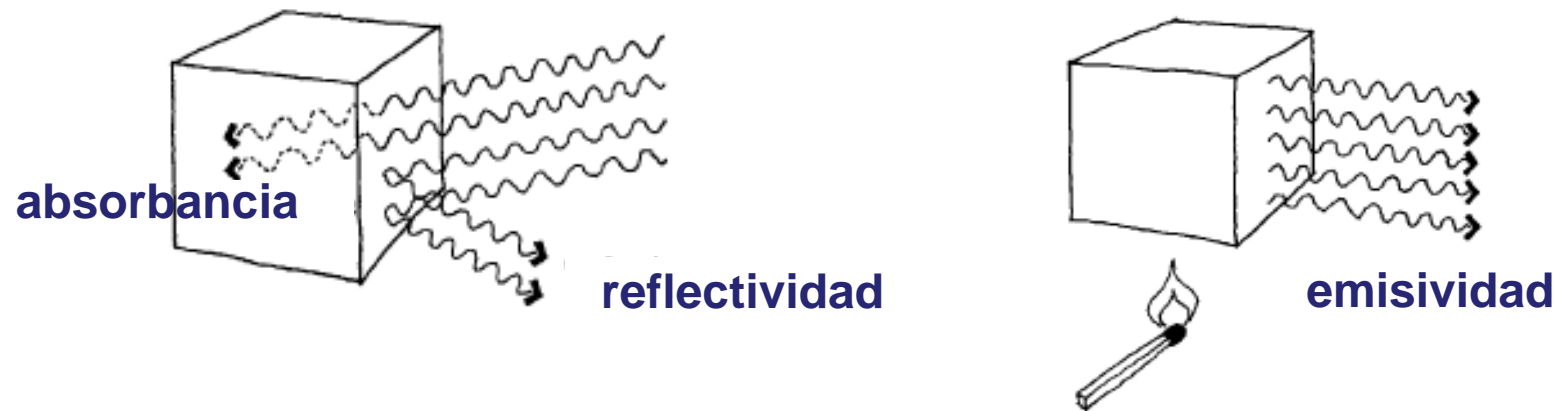


La rapidez de transferencia radiativa entre dos cuerpos es proporcional a la diferencia de las potencias cuartas de las temperaturas absolutas de los cuerpos involucrados.

Base de la termografía infrarroja



Mecanismos básicos de intercambio de calor



	Radiación solar		Radiación terrestre	
	Absorbancia/Emisividad	Reflectancia	Absorbancia/Emisividad	Reflectividad
Aluminio pulido	0.05	0.95	0.05	0.95
Acero Galvanizado	0.25	0.75	0.25	0.75
Pintura blanca	0.20	0.80	0.90	0.10
Enalado	0.12	0.88	0.90	0.10
Pintura verde claro	0.40	0.60	0.90	0.10
Pintura verde oscuro	0.70	0.30	0.90	0.10
Pintura negra	0.85	0.15	0.90	0.10
hormigón	0.60	0.40	0.90	0.10





Capacidad térmica

Es la cantidad de energía que tengo que proporcionar a un kg o un m³ de una sustancia para que aumente en 1°C su temperatura

Material	Capacidad térmica (kJ/m ³ K)	Capacidad térmica (kJ/kgK)
Agua	4160	4.19
Acero	3960	0.50
Piedra	2415	0.88
Hormigón	2080	0.88
Ladrillo	1680	0.84
Suelo arcilloso	1350	0.84
Madera	940	1.89
Lana mineral	27	0.84

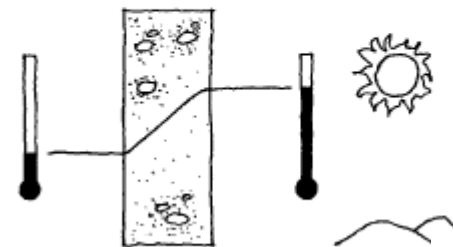
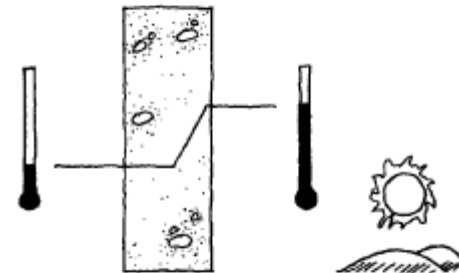
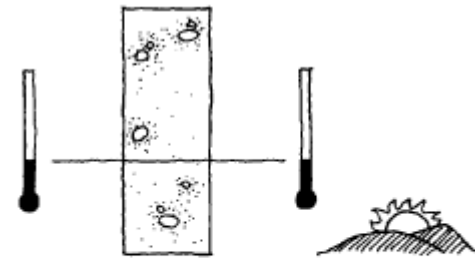
En general, a mayor densidad (mayor masa por unidad de volumen) mayor capacidad térmica. Hay una excepción muy notable, el agua.



Mecanismos básicos de intercambio de calor



Los sistemas con un alta capacidad térmica actúan como amortiguadores ante las variaciones de temperatura



Temperatura exterior



Temperatura interior



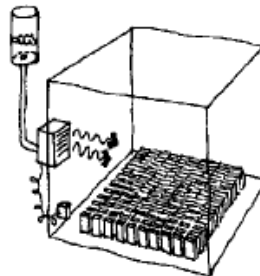
Mecanismos básicos de intercambio de calor



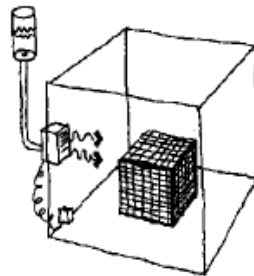
La capacidad térmica da mucho “juego”

Por ejemplo si queremos hacer propuestas desde el punto de vista térmico para dos edificaciones radicalmente diferentes:

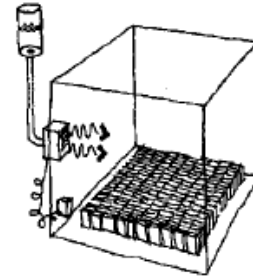
- Un hospital: alta capacidad térmica y alta resistencia térmica
- Un chalet de fin de semana en la montaña: baja capacidad térmica pero alto en resistencia (así se calienta rápido y se enfría rápido una vez desocupado). La madera es una buena solución.



ladrillos

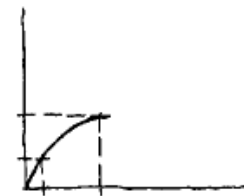
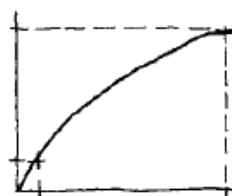
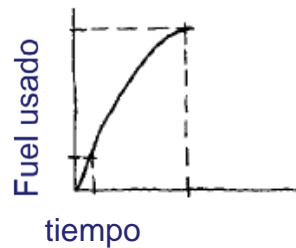


ladrillos



madera

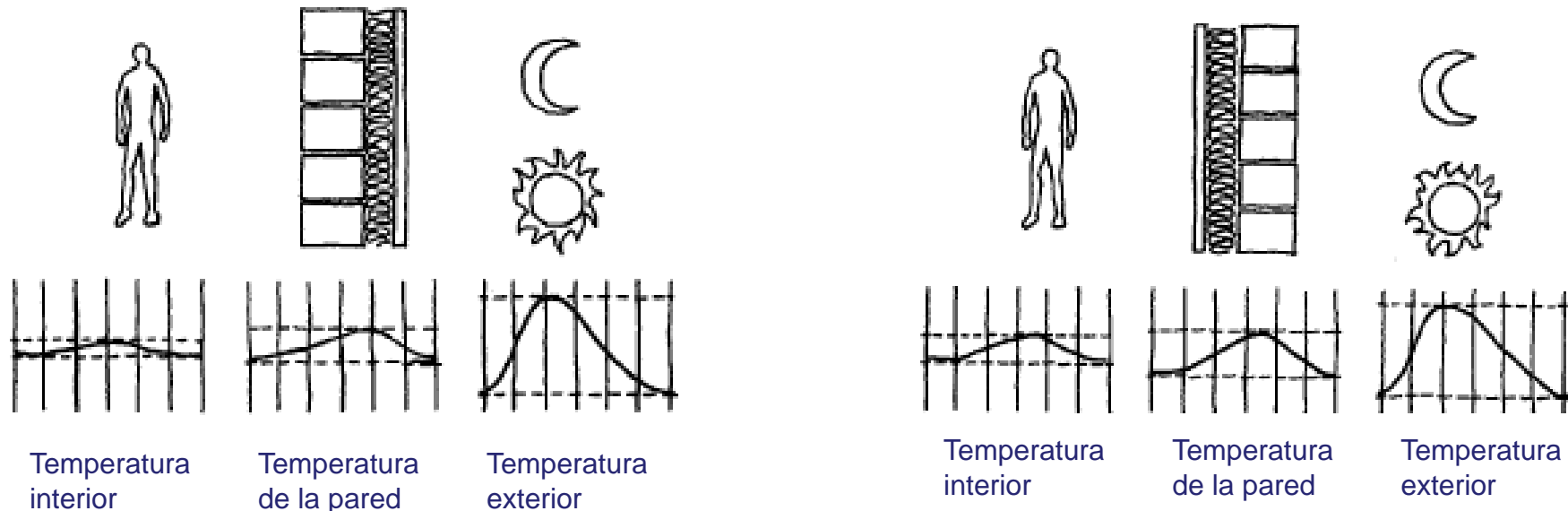
Relación de aspecto (volumen en relación con la superficie)



Mecanismos básicos de intercambio de calor



Los materiales con alta capacidad térmica, en general, presentan una baja resistencia térmica. Es necesario combinarlos con materiales de alta resistencia térmica



Los suelos, en general presenan una alta capacidad térmica, sobre todo debido a los grandes volúmenes (masas) involucrados. La estabilidad térmica se puede apreciar en bodegas.



Índice



- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**



El vapor de agua



La interacción de los materiales utilizados en una construcción con el **vapor de agua** es de extraordinaria importancia para el comportamiento térmico de un edificio

El vapor de agua siempre está presente pero en cantidades ampliamente variables

Cuanto más caliente está el aire, más cantidad de agua puede contener (o viceversa, cuanto más frío, menos agua puede contener)

HR humedad relativa: relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada a una temperatura fijada. Cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está

Hervir agua, ducharse, etc, aumenta la humedad relativa.

Si ésta alcanza el 100% como a veces ocurre en la ducha o en las piscinas climatizadas, el aire no puede aceptar más vapor de agua y empieza a condensarse como pequeñas gotitas de niebla.



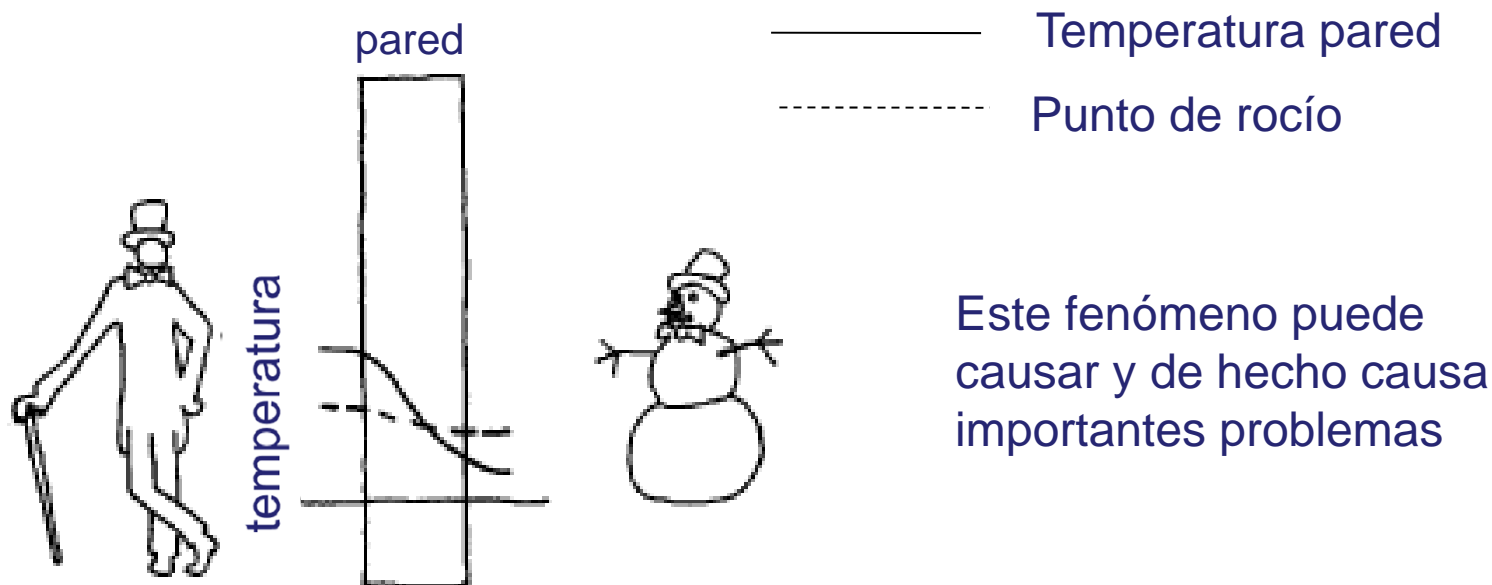
El vapor de agua



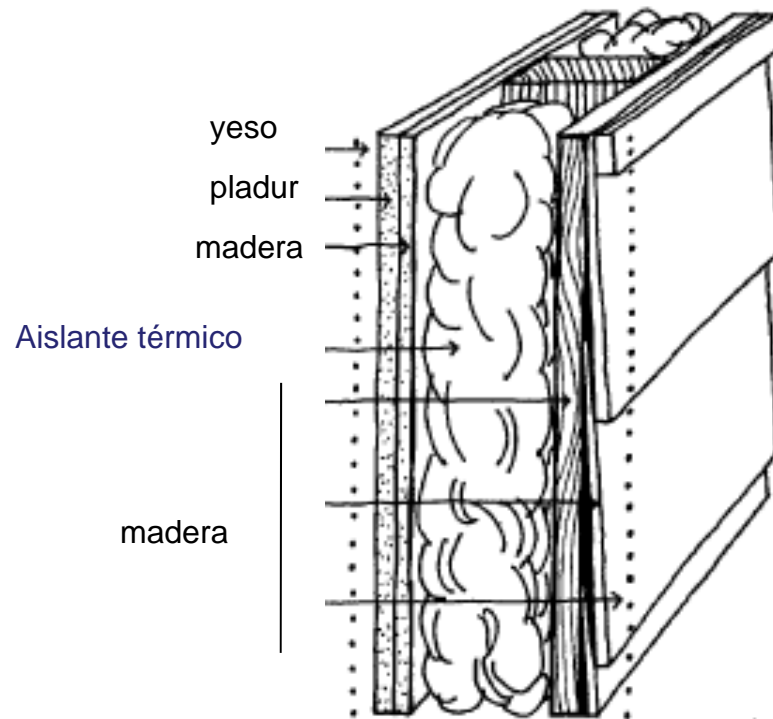
Otra forma de aumentar la HR es reducir la temperatura de una habitación sin permitir que escape nada de aire.

Si la temperatura baja lo suficiente se alcanzará el punto de rocío (temperatura a la cual el aire contiene HR 100%).

Si la temperatura sigue bajando el agua se condensa formando niebla y/o gotitas

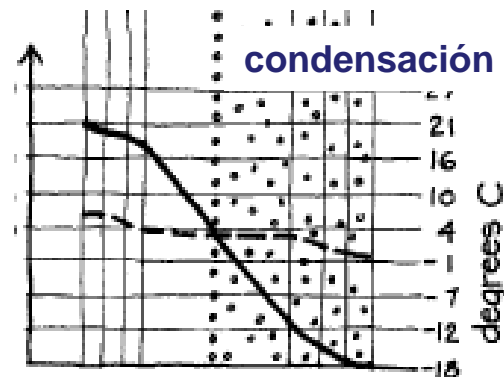


El vapor de agua



El resultado, lamentablemente es que el material aislante térmico acaba empapado en agua, perdiendo casi totalmente su efectividad

En términos generales, la mayor parte de materiales que comunmente se usan en contrucción presentan una ligera o moderada resistencia a la difusión del vapor de agua



— Temperatura pared
- - - Punto de rocío



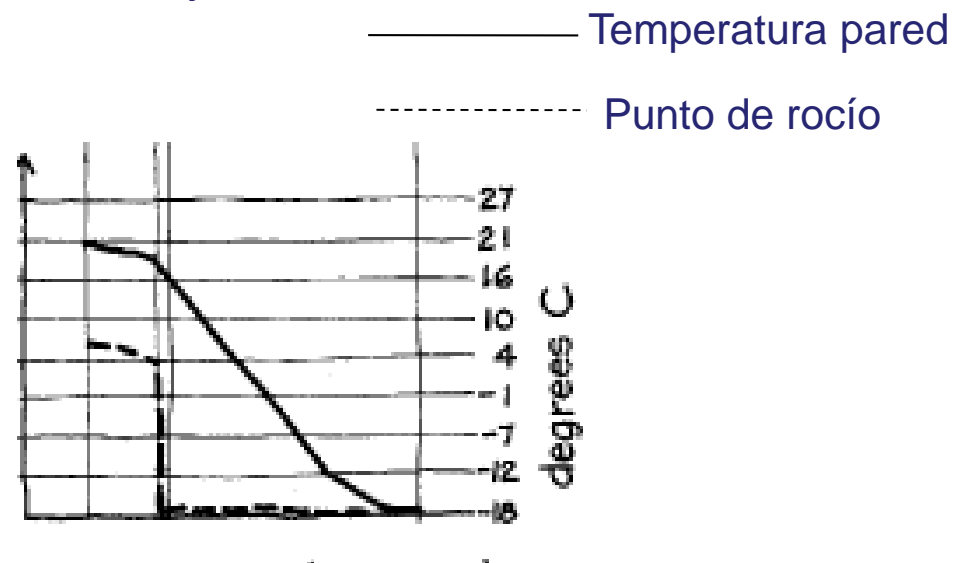
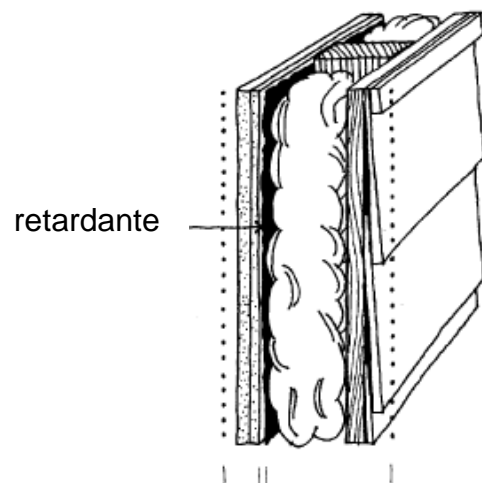
El vapor de agua



Cuando el vapor de agua que se difunde encuentra una capa relativamente impermeable (como puede ser un acabado de pintura exterior bien aplicada) la presión de vapor puede levantar “burbujas”, literalmente despegando la pintura de la pared.

Para evitar este serio problema se debe instalar en el lado caliente de la pared un **retardador de vapor** conocidos también como **barreras de vapor**. Típicamente son láminas de polietileno o finas láminas metálicas.

En construcción nueva debe instalarse en paredes interiores y techos, y se deben “sellar” cuidadosamente todas las juntas.



El vapor de agua



En **rehabilitación de edificios**, la mayor parte de las veces es difícil poder instalar un retardante de vapor. Lo mejor es sellar todas las posibles pérdidas de aire y juntas y aplicar una buena capa de **pintura retardante del vapor** en el lado caliente de la superficie.

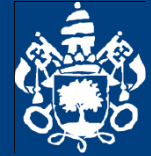
Este problema aparece también en las **tuberías de agua fría** mal aisladas.

Los retardantes de vapor SIEMPRE se deben instalar en el lado caliente (en climas fríos el interior, en climas cálidos el exterior).

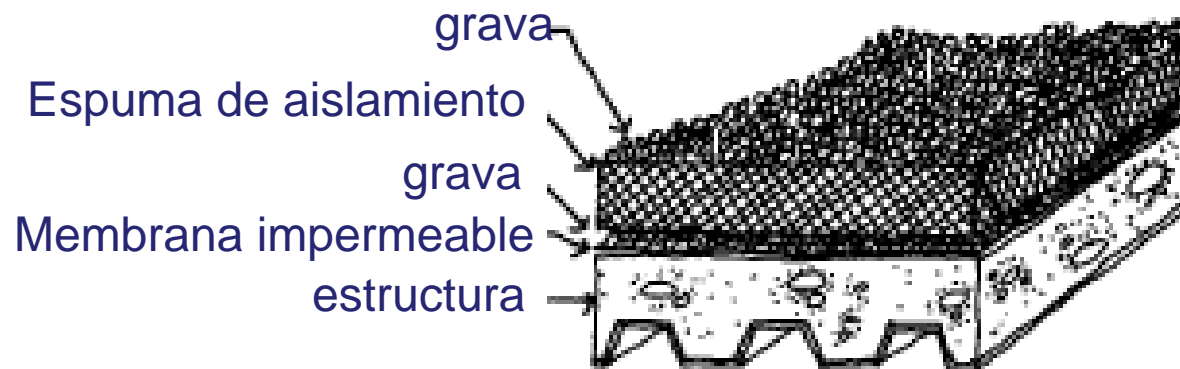
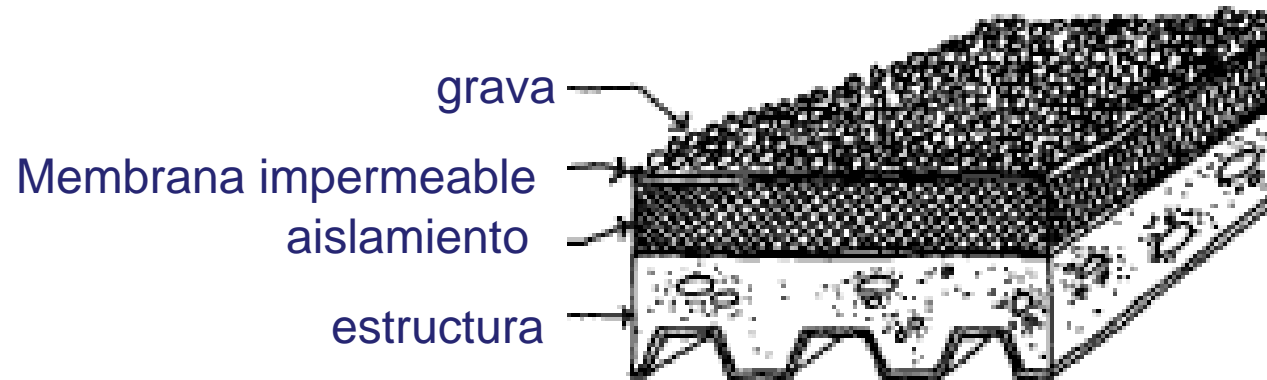
Los tejados constituyen un caso aparte



El vapor de agua



Tejado de membrana convencional



Tejado de membrana invertido





- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**





HERMETICIDAD

Las fugas de aire a través de paredes y techados desperdician energía de dos formas diferentes. Permiten entrar al aire exterior (frío en climas fríos) y salir al aire interior (caliente). Mal negocio.



La instalación de barreras para el aire es crítica. Al instalarse en el lado frío deben permitir el paso del vapor de agua para trabajar correctamente

La ventilación debe ser controlada no descontrolada



Índice



- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**





SENSACIÓN TÉRMICA

Cada material proporciona una sensación térmica característica.

Los materiales que son **agradables al tacto** (maderas, alfombras, algunos plásticos) son aquellos que **tienen baja capacidad térmica y alta resistencia térmica**.

(mediante conducción el cuerpo rápidamente calienta una capa del material cercana a la piel y el material se siente agradablemente cálido).

Los materiales que se sienten **fríos al tacto** (metal, piedra, hormigón) son aquellos que tienen **alta capacidad térmica y baja resistencia térmica**.

(mediante conducción el cuerpo pierde rápidamente calor y este fenómeno continúa durante un período relativamente largo).

Un ejemplo de esto es una habitación con aire a 20°C frente a un baño con agua a 20°C





RECAPITULEMOS:

- **CONDUCCIÓN:** materiales con alta resistencia térmica
- **CONVECCIÓN:** Estudiar los patrones de convección y tratar de evitar la convección descontrolada
- **RADIACIÓN:** dedicaremos un apartado aparte
- **CAPACIDAD TERMICA:** Utilizar materiales con alta capacidad térmica (para amortiguar las oscilaciones térmicas) y a ser posible en combinación con materiales con alta resistencia térmica.
- **VAPOR DE AGUA:** utilizar retardadores de vapor y sellado de juntas.
- **HERMETICIDAD:** evitar a toda costa la pérdida de aire
- **SENSACIÓN TÉRMICA:** Los materiales que son agradables al tacto (maderas, alfombras, algunos plásticos) son aquellos que tienen baja capacidad térmica y alta resistencia térmica



Índice



- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**

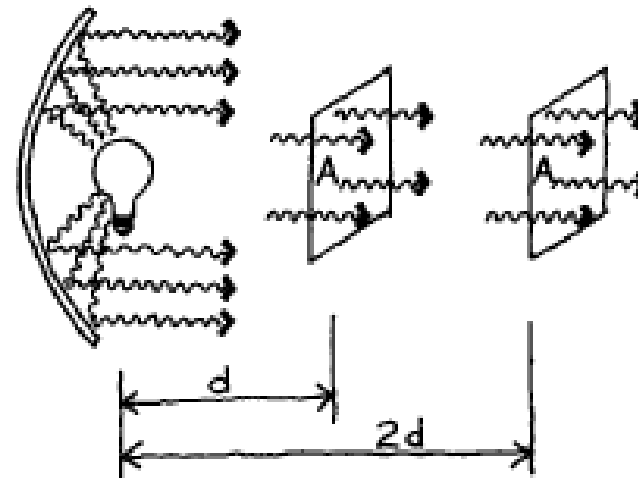
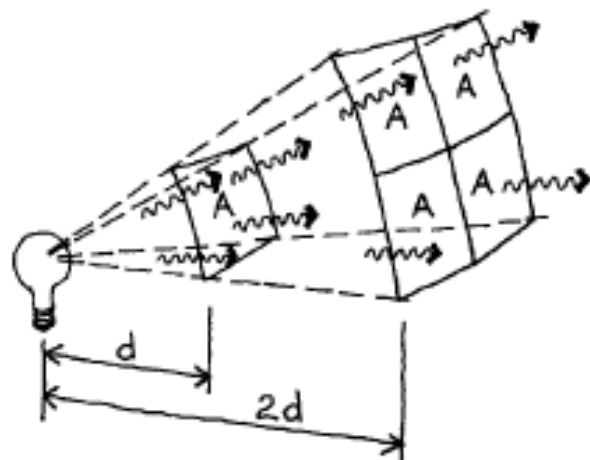


Controlando la radiación



Un papel fundamental de un edificio es **controlar el flujo de radiación térmica** hacia y desde el cuerpo de sus ocupantes.

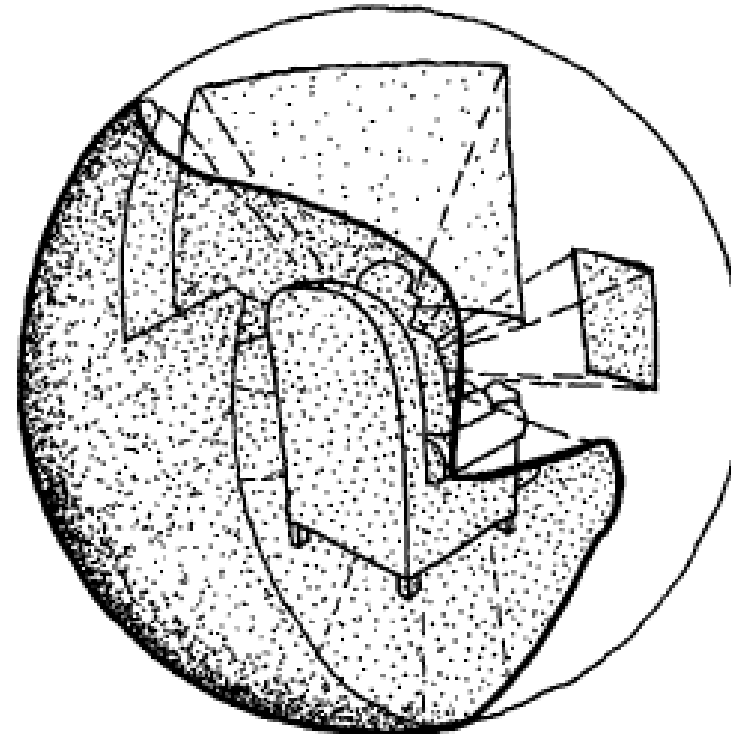
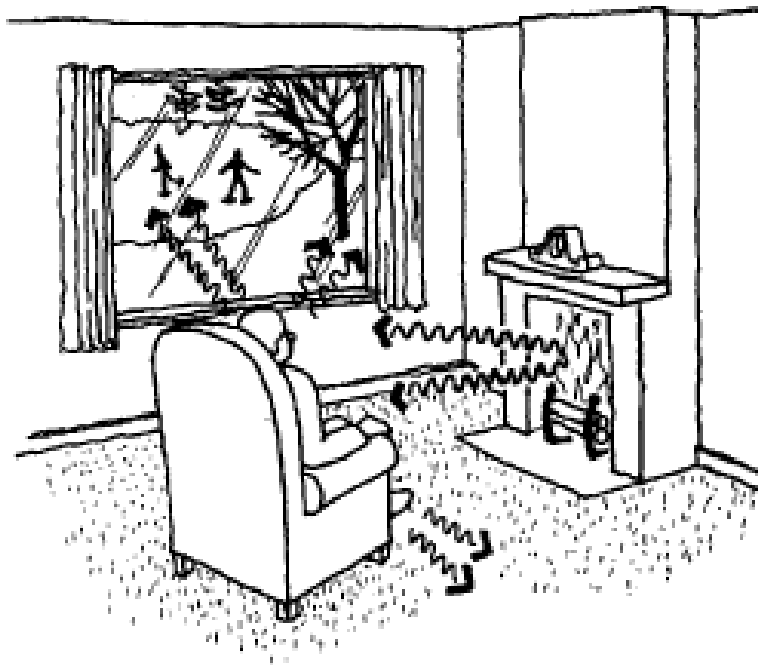
Intensidad radiativa vs distancia a la fuente: la intensidad de la radiación decae con el cuadrado de la distancia a la fuente. ¿Siempre?



Controlando la radiación



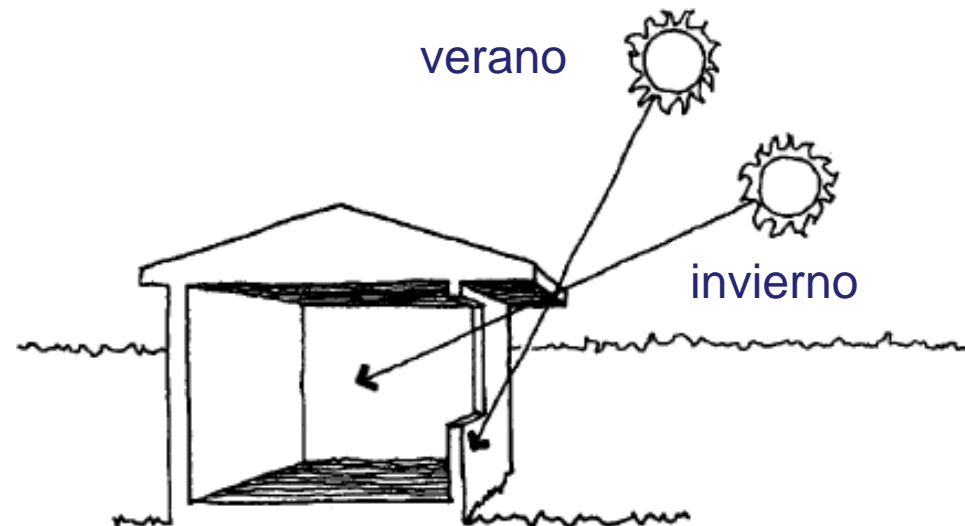
Temperatura media radiante





Manipulando la temperatura radiante en un clima frío

Estrategia 1: Podemos permitir al sol entrar

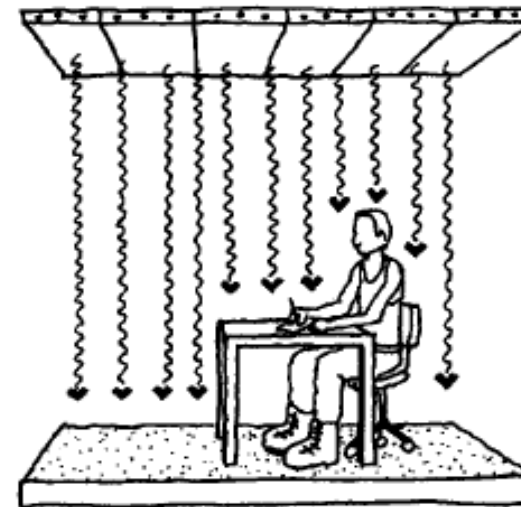
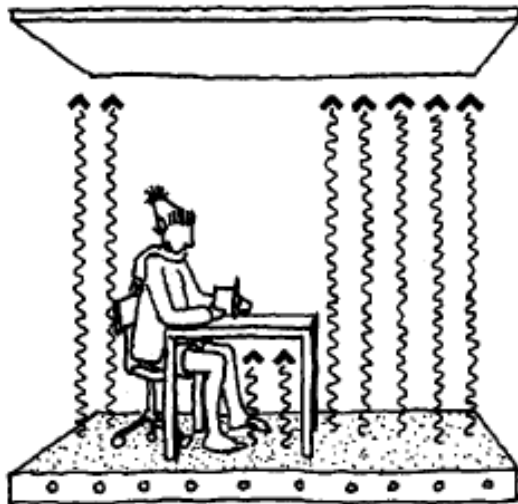


Controlando la radiación



Estrategia 2: Debemos mejorar el aislamiento térmico global del edificio usando adicionalmente superficies altamente reflectantes a la radiación IR que reflejen la energía de nuevo hacia el cuerpo (como en el caso de las mantas térmicas del 112). Estas superficies se pueden usar en el mobiliario. Es un asunto muy intrigante e interesante.

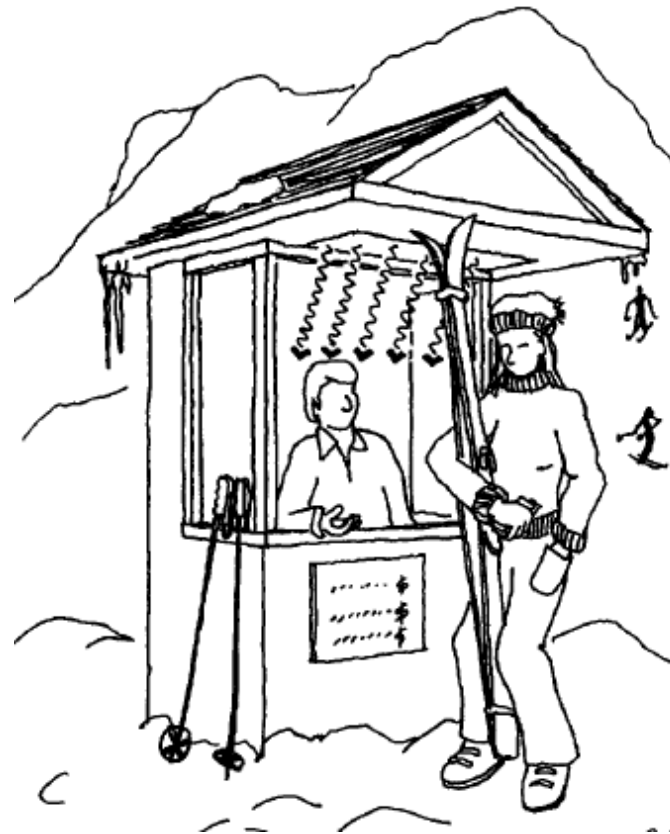
Estrategia 3: Podemos calentar grandes superficies como suelos o techos a temperaturas unos pocos grados por encima de la temperatura del cuerpo (documentado en termas y palacios de la época romana).



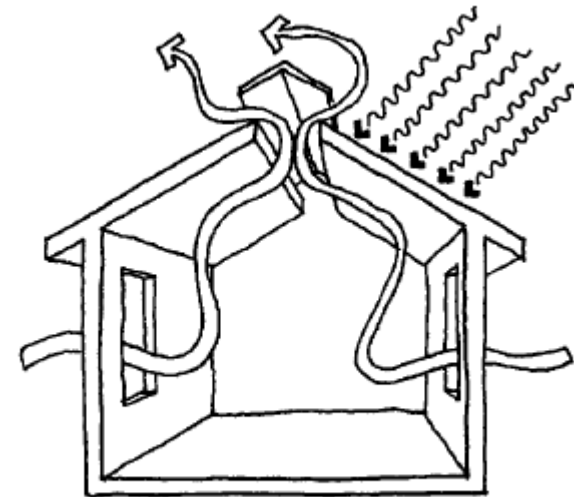
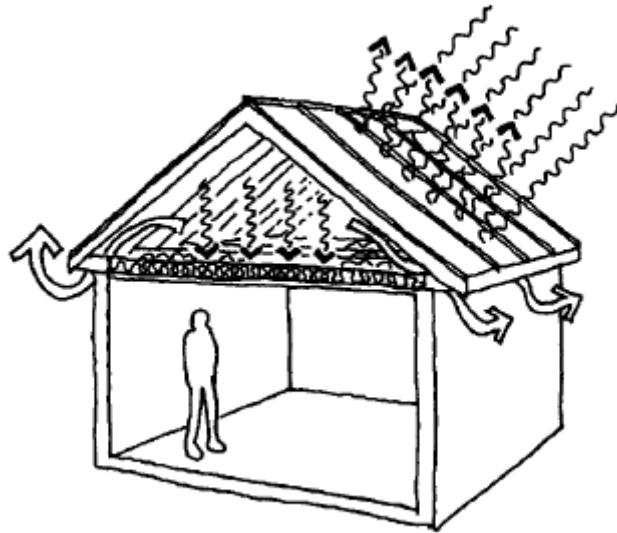
Controlando la radiación



Estrategia 4: Podemos calentar pequeñas superficies como filamentos o superficies cerámicas a temperaturas de cientos de grados por encima de la temperatura del cuerpo.



Controlando la radiación



Con la ayuda de la convección natural, se puede utilizar el intercambio radiativo para enfriar!!



Índice



- **Objetivos e introducción**
- **La sensación térmica: proveyendo “confort térmico”**
- **Mecanismos básicos de intercambio de calor**
- **El vapor de agua (aire húmedo)**
- **Hermeticidad**
- **Sensación térmica**
- **Controlando la radiación**
- **Conclusiones**



Conclusiones

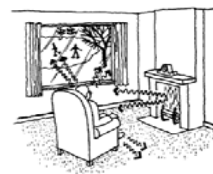
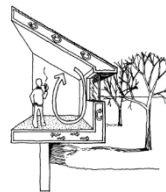
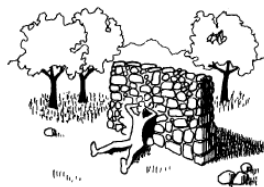
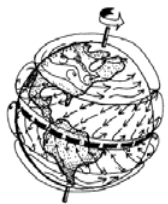


- ① **CONDUCCIÓN:** materiales con alta resistencia térmica.
- ① **CONVECCIÓN:** Estudiar los patrones de convección y tratar de evitar la convección descontrolada.
- ① **RADIACIÓN:** se puede controlar la radiación,
- ① **CAPACIDAD TERMICA:** Utilizar materiales con alta capacidad térmica (para amortiguar las oscilaciones térmicas) y a ser posible en combinación con materiales con alta resistencia térmica.
- ① **VAPOR DE AGUA:** utilizar retardadores de vapor y sellado de juntas.
- ① **HERMETICIDAD:** evitar a toda costa la pérdida de aire.
- ① **SENSACIÓN TÉRMICA:** Los materiales que son agradables al tacto (maderas, alfombras, algunos plásticos) son aquellos que tienen baja capacidad térmica y alta resistencia térmica.
- ① Se puede controlar la **COMPONENTE RADIATIVA** para mejorar la sensación térmica.
- ① La eficiencia térmica de edificios es un campo que aún puede desarrollarse ampliamente.





GRACIAS POR SU ATENCIÓN !



Bibliografía: How buildings work. The natural order of architecture. Edward Allen. Oxford University Press 2005

