

**“Arquitectura bioclimática,
EECN y Passivhaus con
Termoarcilla”**



Estrategias de diseño pasivo: sostenibilidad, inercia térmica y captación de energía

F. Javier Neila González
Dr. Arquitecto
Catedrático de Universidad

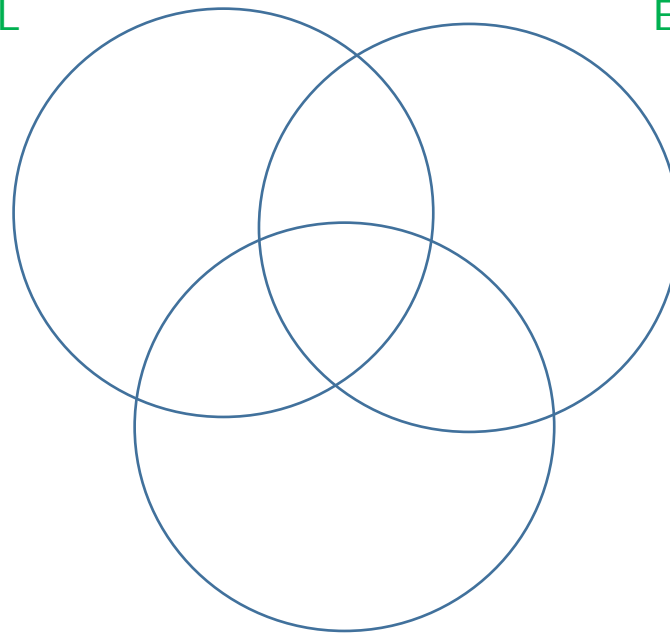
miércoles 7 de abril de 2021

¿Qué es la sostenibilidad?

La confluencia de diversas visiones y enfoques, ante un mismo problema, que debe verse globalmente

MEDIOAMBIENTAL

ECONÓMICO



SOCIAL

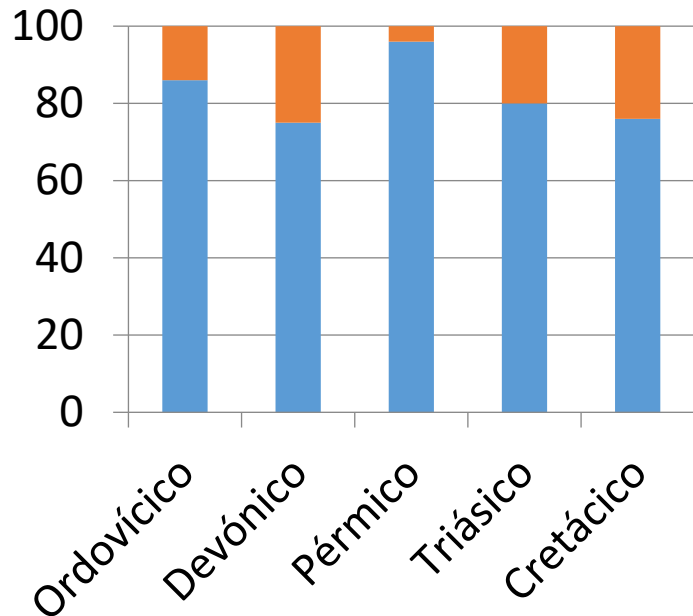
¿Qué es la sostenibilidad medioambiental?

Es un concepto biológico que se refiere al equilibrio entre una especie los recursos de su entorno inmediato

La pérdida de recursos lleva a la destrucción de la especie

Ha habido cinco grandes extinciones:

El cambio climático o la alteración del medio ambiente puede llevar a la pérdida de recursos



Ordovícico	86%	Alteraciones del clima
Devónico	75%	Enfriamiento global
Pérmico	96%	Calentamiento global debido a volcanes
Triásico	80%	Calentamiento global
Cretácico	76%	Asteroide

¿Qué es la sostenibilidad medioambiental?

Es un concepto biológico que se refiere al equilibrio entre una especie los recursos de su entorno inmediato

Todas estas extinciones las han provocado cambios rápidos en el hábitat

¡Hoy en día se están produciendo cambios en el hábitat 10 veces más rápido de lo que jamás se produjeron!

La pérdida de recursos lleva a la destrucción de la especie

El cambio climático o la alteración del medio ambiente puede llevar a la pérdida de recursos

Ordovícico	86%	Alteraciones del clima
Devónico	75%	Enfriamiento global
Pérmico	96%	Calentamiento global debido a volcanes
Triásico	80%	Calentamiento global
Cretácico	76%	Asteroide

¿Qué es la sostenibilidad medioambiental?

Es un concepto biológico que se refiere al equilibrio entre una especie los recursos de su entorno inmediato

¿Cuáles son los recursos en riesgo?

Para las especies vivas:

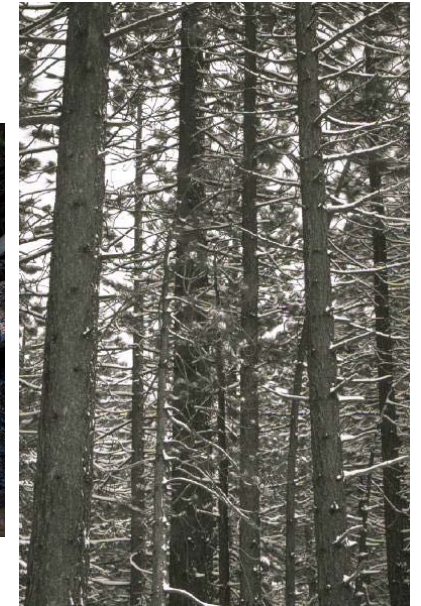
→ Alimentos

→ Agua

→ Aire limpio

→ Espacio físico

→ Biodiversidad



¿Qué es la sostenibilidad medioambiental?

Es un concepto biológico que se refiere al equilibrio entre una especie los recursos de su entorno inmediato

¿Cuáles son los recursos en riesgo?

Para las especies vivas:

Alimentos

Agua

Aire limpio

Espacio físico

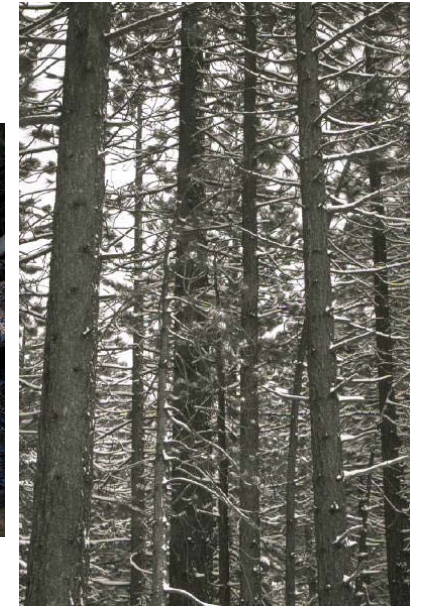
Biodiversidad

En arquitectura:

Agua

Materiales de construcción

Energía



Agua

Durante el siglo XX ha crecido 2 veces más el consumo de agua el aumento de la población

97% del agua es salada

2,74% es agua dulce en estado sólido (en los casquetes polares)

0,26% es agua dulce accesible

El 70% de esa agua se emplea en la agricultura (90% en zonas áridas)

El aumento de la población reduce la cantidad de agua por persona y el **cambio climático** altera la distribución del agua potable sobre la Tierra.

Agua

Gestión adecuada del agua durante el uso del edificio:

- Reducción del consumo (hasta un 40%)
 - Grifería
 - Electrodomésticos
- Recogida agua de lluvia (depende del régimen de lluvias)
 - Aljibes en cubierta
 - Aljibes en patios y jardines
- Tratamiento de aguas grises (hasta un 80%)
 - Sistemas mecánicos
 - Sistemas de fitodepuración



Agua

Gestión adecuada del agua en la fabricación y construcción:

- Sistemas industrializados y prefabricados
- Construcción en seco



Materiales

Agotamiento de recursos materiales:

- Materiales sostenibles
- Materiales reciclados y reciclables
- Industrialización y prefabricación
- Rehabilitación



Materiales

Análisis de Ciclo de Vida (ACV):

- Agotamiento de **recursos abióticos**
- Aumento de retención de infrarrojos (**calentamiento global**)
- Eutrofización de sistemas acuáticos (pérdida de hábitat)
- Agotamiento de **ozono estratosférico**
- Eco toxicidad humana, acuática y terrestre
- Oxidación fotoquímica
- Acidificación

Declaración Ambiental de Producto (DAP):

Es un documento **sectorial normalizado** que proporciona información **cuantificada y verificable** sobre el comportamiento ambiental **comparativo** de un producto, un material o un servicio, empleando varios indicadores del ACV, de conformidad con la Norma Internacional **UNE-EN ISO 14025**.

Energía

Reducción de la demanda:

- Arquitectura bioclimática
 - Diseño del edificio
 - Diseño de la envolvente
 - Diseño del sistema de ventilación

Reducción del consumo

- Instalaciones eficientes
 - Bombas de calor
- Instalaciones con energías renovables
 - Calderas de biomasa
 - Enfriadoras de absorción

Autogeneración de energía:

- Instalaciones de energías renovables
 - Instalaciones solares térmicas
 - Instalaciones solares fotovoltaicas
 - Aerogeneradores
 - Cogeneradores

Energía

Reducción de la demanda:

- Arquitectura bioclimática
 - Diseño del edificio
 - Diseño de la envolvente
 - Diseño del sistema de ventilación

Objetivos energéticos de la gestión de la energía en el edificio pasivo

- Captar energía
- Almacenar energía
- Conservar energía
- Distribuir energía

Arquitectura bioclimática

Arquitectura sostenible

Arquitectura adaptada y resiliente

Arquitectura de alta eficiencia energética

¿La arquitectura adaptada es una arquitectura sostenible?

¿Es lo mismo que arquitectura bioclimática?

Interpretación bioclimática (efectos del clima sobre el hombre) de la arquitectura.

La arquitectura popular está altamente adaptada al clima y los recursos

Arquitectura bioclimática es la arquitectura popular evolucionada



Conservación de energía

Aislamiento térmico



Conservación de energía

Aislamiento térmico



Conservación de energía

Aislamiento térmico



Conservación de energía

Aislamiento térmico



Conservación de energía

Aislamiento térmico



Ventilación



Ventilación



Ventilación



Ventilación



Ventilación



Ventilación



Sombreamiento



Sombreamiento



Sombreamiento



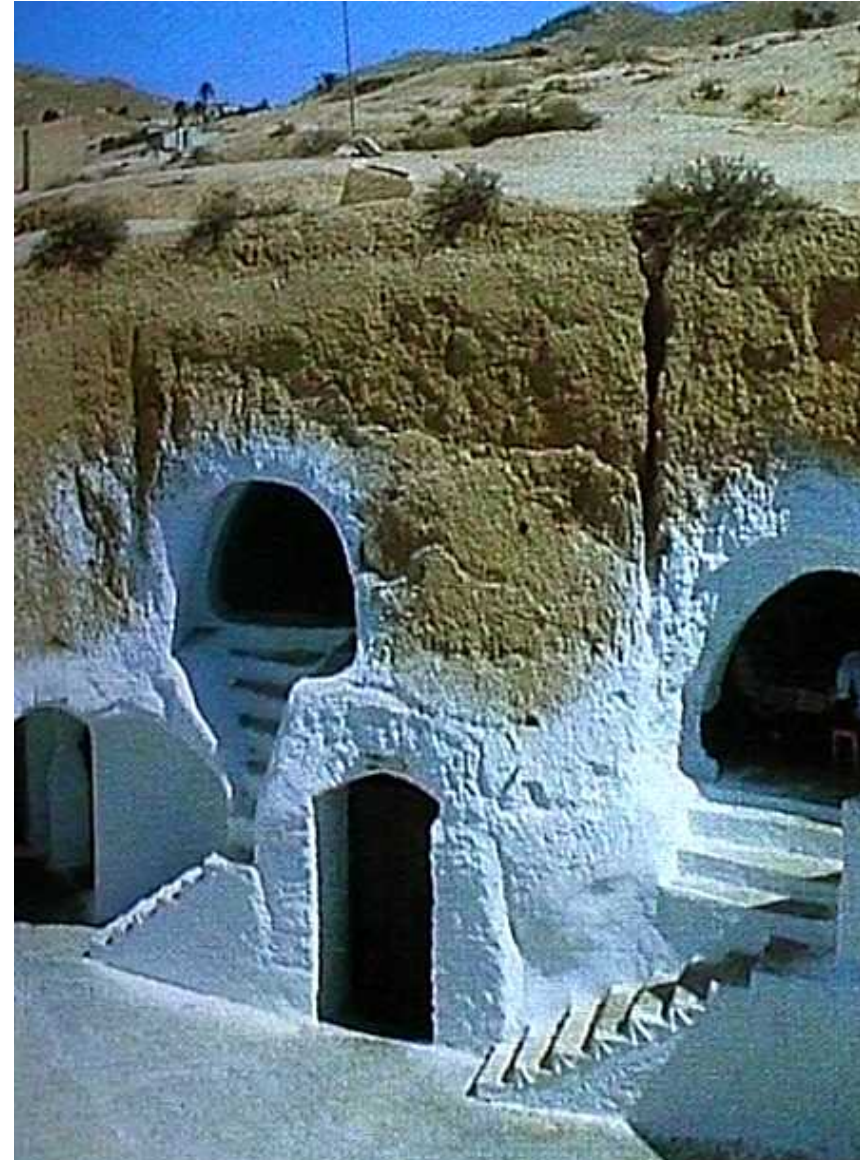
Masa térmica

Estabilidad de temperaturas



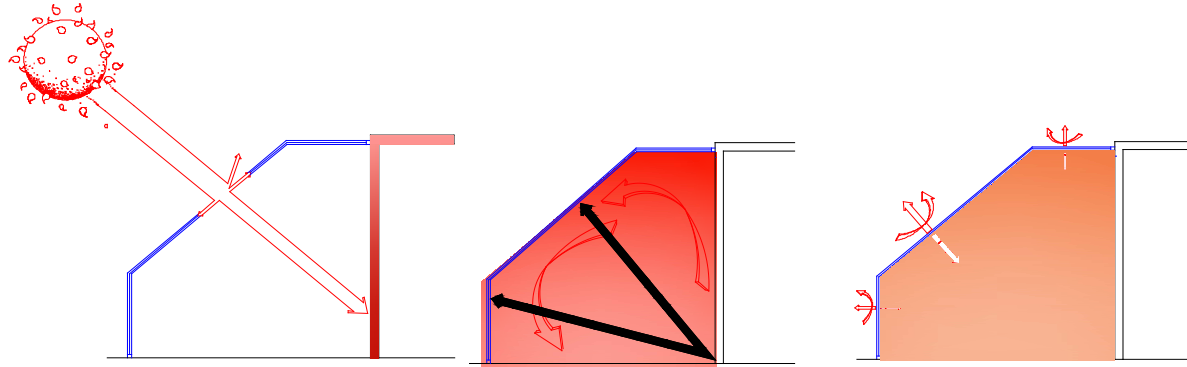
Masa térmica

Estabilidad de temperaturas

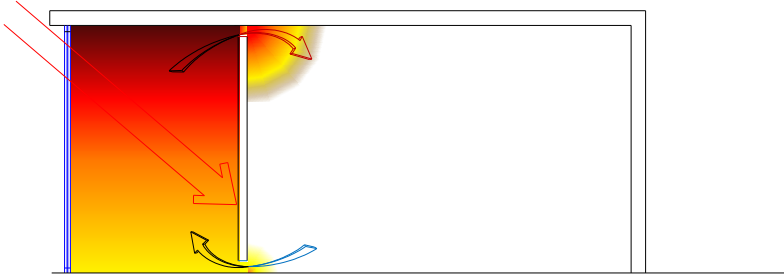


Captar energía: solar

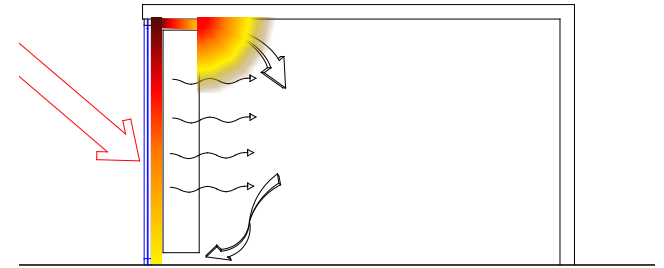
Efecto invernadero



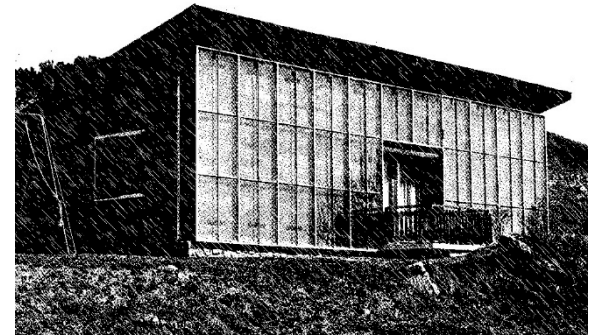
Captación solar: mejoras



Captación directa con lazo convectivo



Muro trombe



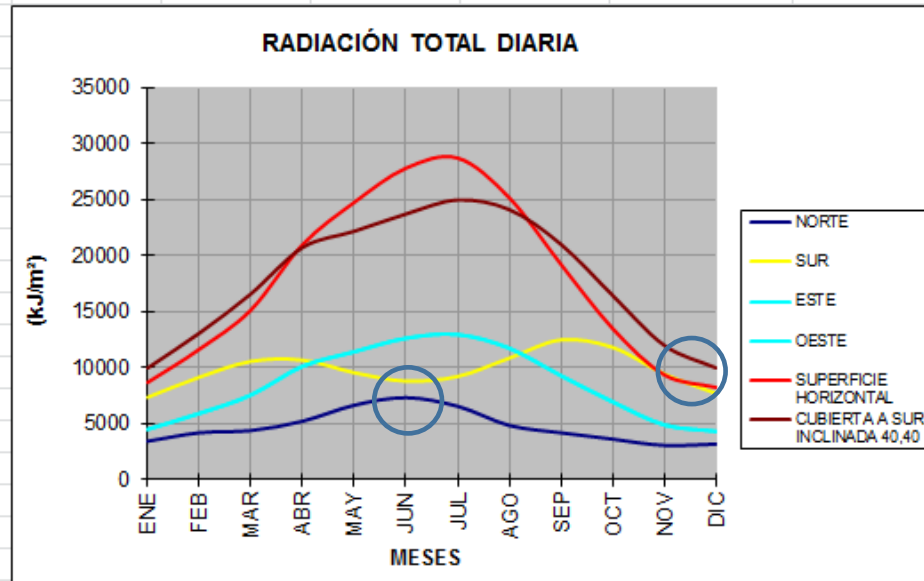
Captación solar: directa, lazo convectivo, la casa dentro de la casa



Radiación solar en Madrid orientación óptima

RADIACIÓN TOTAL MENSUAL

(kJ/m ²)	NORTE	SUR	ESTE	OESTE	SUPERFICIE HORIZONTAL	CUBIERTA A SUR INCLINADA 40,40
ENE	3447	7360	4503	4503	8685	9972
FEB	4201	9149	5924	5924	11641	13074
MAR	4393	10568	7563	7563	15147	16584
ABR	5226	10674	10129	10129	20979	20722
MAY	6658	9560	11417	11417	24746	22169
JUN	7329	8806	12630	12630	27792	23709
JUL	6564	9221	12954	12954	28699	24959
AGO	4853	10852	11737	11737	25153	24101
SEP	4203	12481	9292	9292	19231	21012
OCT	3634	11815	6963	6963	13500	16449
NOV	3075	9438	4901	4901	9373	11995
DIC	3190	7719	4331	4331	8254	9981



Radiación solar en Madrid irradiancias

LATITUD:	40,40 ° NORTE															Madrid		
ALTITUD:	664 m																	
DÍA 15 DEL MES CON EL ÍNDICE DE NUBOSIDAD MEDIO																		
INCLINADA: INCLINACIÓN IGUAL A LA LATITUD (A SUR)																		
IRRADIANCIA MEDIA HORARIA SOBRE SUPERFICIE (W/m ²)																		
ENERO	hora solar	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Totales diarios por m²	
	NORTE	0	0	0	86	100	112	119	122	119	112	100	86	0	0	0	958 Wh	3447 kJ
	SUR	0	0	0	136	203	253	284	295	284	253	203	136	0	0	0	2045 Wh	7360 kJ
	ESTE	0	0	0	155	196	194	166	122	119	112	100	86	0	0	0	1251 Wh	4503 kJ
	OESTE	0	0	0	86	100	112	119	122	166	194	196	155	0	0	0	1251 Wh	4503 kJ
	HORIZONTAL	0	0	0	182	240	291	325	337	325	291	240	182	0	0	0	2412 Wh	8685 kJ
	INCLINADA	0	0	0	191	273	339	383	398	383	339	273	191	0	0	0	2770 Wh	9972 kJ
FEBRERO	hora solar	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Totales diarios por m²	
	NORTE	0	0	74	91	107	119	128	131	128	119	107	91	74	0	0	1167 Wh	4201 kJ
	SUR	0	0	83	167	236	291	326	338	326	291	236	167	83	0	0	2541 Wh	9149 kJ
	ESTE	0	0	99	222	250	235	191	131	128	119	107	91	74	0	0	1645 Wh	5924 kJ
	OESTE	0	0	74	91	107	119	128	131	191	235	250	222	99	0	0	1645 Wh	5924 kJ
	HORIZONTAL	0	0	148	216	291	356	398	413	398	356	291	216	148	0	0	3234 Wh	11641 kJ
	INCLINADA	0	0	136	236	331	410	462	480	462	410	331	236	136	0	0	3632 Wh	13074 kJ

Radiación captada:

2045 Wh/m² al día x 1 m² de acristalamiento= 2,045 kWh al día

Radiación captada durante el mes de enero:

2,045 kWh x 31 días = 63,395 kWh

Radiación solar en Madrid

superficie de captación

Demanda límite de calor según CTE (para 200 m²):

37 kWh/m²·año

Promedio durante 6 meses de invierno:

6,16 kWh/m²· mes

Ponderado para el mes de enero (1,5):

Aproximadamente 9,24 kWh/m² de vivienda

9,24 x 200 = 1848 kWh/vivienda

Superficie de vidrio necesaria: $1848/63,395 = 29,15 \text{ m}^2$

Debido a las características del vidrios y al color de los acabados receptores, velocidad de calentamiento y distribución del aire caliente el rendimiento podría reducirse a un 50%: 29 a 44 m²

Radiación captada:

2045 Wh/m² al día x 1 m² de acristalamiento= 2,045 kWh al día

Radiación captada durante el mes de enero:

2,045 kWh x 31 días = **63,395 kWh**

Captar energía: Enfriamiento con ventilación nocturna

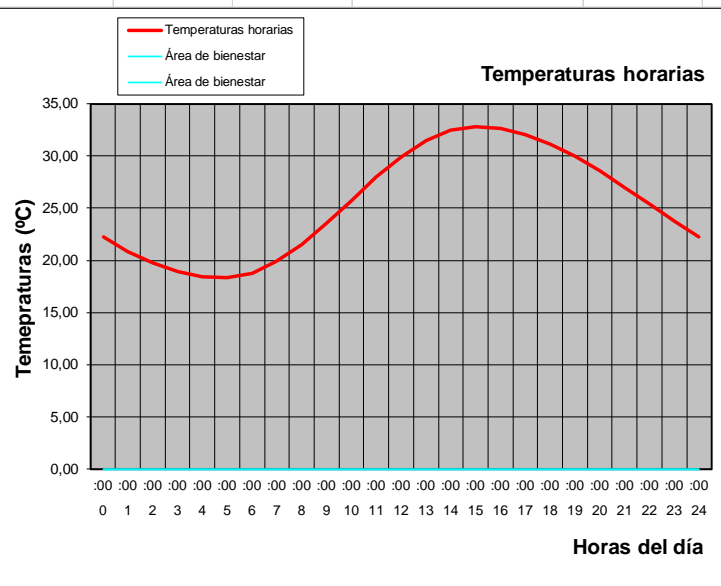
- Temperatura del aire de la noche
- Horas nocturnas aprovechables
- Energía calorífica diaria a eliminar
- Estrategias de ventilación
- Masa térmica para almacenar la energía

Temperaturas horarias en Madrid

CÁLCULO DE TEMPERATURA HORARIAS Y ZONA DE BIENESTAR

Localidad:	Madrid	
Latitud:	40,42 °	
Mes:	JUL	
Temperatura máxima del día:	32,8 °C	
Temperatura mínima del día:	18,3 °C	
Humedad relativa media del día:	36,0 %	
Temperatura media del día:	25,6 °C	
Hora de la temperatura máxima del día:	15	(por defecto 15:00)
Hora de la temperatura mínima del día:	4,8	4,8
	(recomendable la hora del amanecer + 0..2):	
Temperatura máxima de bienestar:	°C	
Temperatura mínima de bienestar:	°C	

HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
0 :00	22,21 °C	44 %
1 :00	20,85 °C	48 %
2 :00	19,72 °C	51 %
3 :00	18,90 °C	54 %
4 :00	18,42 °C	56 %
5 :00	18,31 °C	56 %
6 :00	18,79 °C	54 %
7 :00	19,90 °C	51 %
8 :00	21,55 °C	46 %
9 :00	23,57 °C	41 %
10 :00	25,77 °C	36 %
11 :00	27,96 °C	31 %
12 :00	29,92 °C	28 %
13 :00	31,47 °C	26 %
14 :00	32,46 °C	24 %
15 :00	32,80 °C	24 %
16 :00	32,61 °C	24 %
17 :00	32,06 °C	25 %
18 :00	31,17 °C	26 %
19 :00	30,00 °C	28 %
20 :00	28,59 °C	30 %
21 :00	27,03 °C	33 %
22 :00	25,38 °C	36 %
23 :00	23,75 °C	40 %
24 :00	22,21 °C	44 %



Ventilación nocturna en Madrid

Temperatura interior de bienestar: 24 °C

Periodo del día con temperaturas exteriores inferiores a la de bienestar: 22:15 a 9:15

Número de horas: 11 h

Máxima efectividad: 23:00 a 8:00

Número de horas: 9 h

Temperatura media nocturna de ese periodo: 20,5 °C

Salto térmico: $24 - 20,5 = 3,5$ °C

HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
0 :00	22,21 °C	44 %
1 :00	20,85 °C	48 %
2 :00	19,72 °C	51 %
3 :00	18,90 °C	54 %
4 :00	18,42 °C	56 %
5 :00	18,31 °C	56 %
6 :00	18,79 °C	54 %
7 :00	19,90 °C	51 %
8 :00	21,55 °C	46 %
9 :00	23,57 °C	41 %
10 :00	25,77 °C	36 %
11 :00	27,96 °C	31 %
12 :00	29,92 °C	28 %
13 :00	31,47 °C	26 %
14 :00	32,46 °C	24 %
15 :00	32,80 °C	24 %
16 :00	32,61 °C	24 %
17 :00	32,06 °C	25 %
18 :00	31,17 °C	26 %
19 :00	30,00 °C	28 %
20 :00	28,59 °C	30 %
21 :00	27,03 °C	33 %
22 :00	25,38 °C	36 %
23 :00	23,75 °C	40 %
24 :00	22,21 °C	44 %

Ventilación nocturna en Madrid

Demanda límite de calor según CTE (para 200 m²):

15 kWh/m²·año

Promedio durante 4 meses de verano:

3,75 kWh/m²· mes

Ponderado para el mes de julio (1,30):

Aproximadamente 4,88 kWh/mes·m² de vivienda

Demanda diaria: 0,16 kWh/m²· día de julio

Demanda diaria de la vivienda (D): 31,45 kWh/día de julio

Caudal de aire nocturno necesario: $Q = D / (0,0002777 \cdot \Delta t) = 31,45 / (0,0002777 \cdot 3,5)$

$Q = 32359,23 \text{ m}^3$

Caudal de aire nocturno horario:

$Q_h = 32359,23 \text{ m}^3 / 11 \text{ h} = 2941,74 \text{ m}^3/\text{h} (0,817 \text{ m}^3/\text{s})$

Renovaciones hora: $2941,74 / 600 = 4,9 \text{ renov/h}$

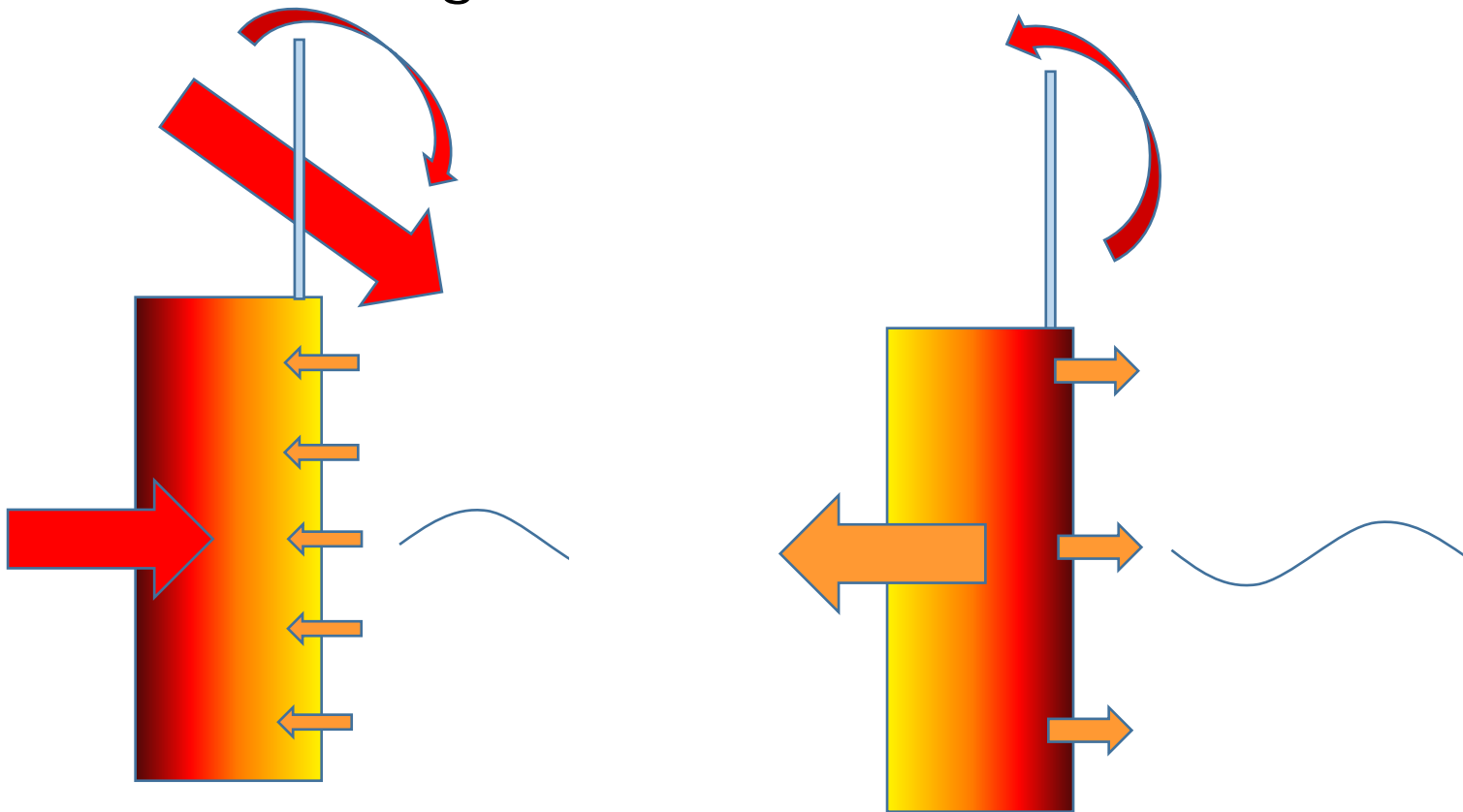
Almacenar energía: Objetivos

- Bienestar
 - Sostenibilidad
-
- Estabilidad térmica
 - Aprovechamiento de energías renovables irregulares



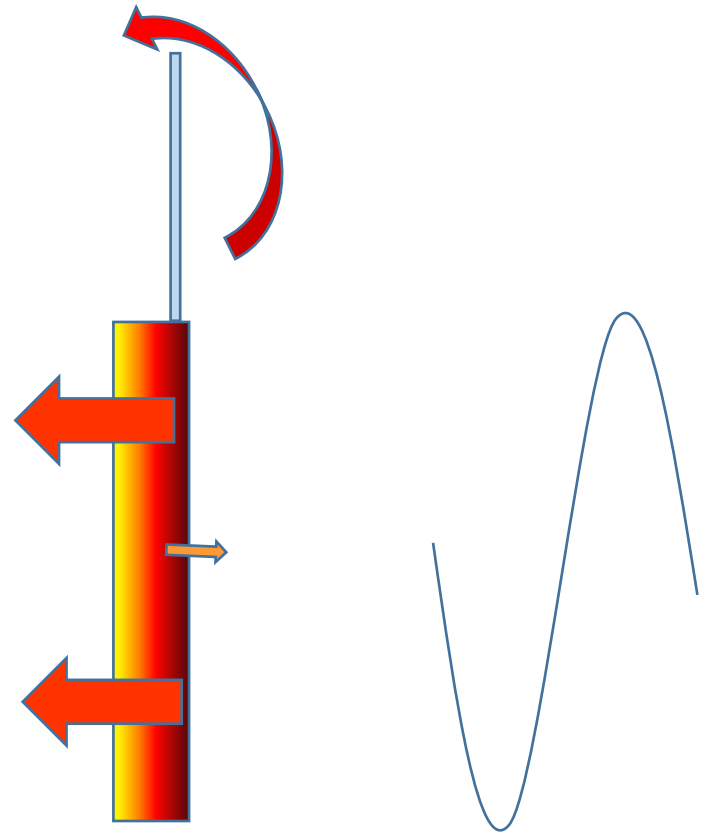
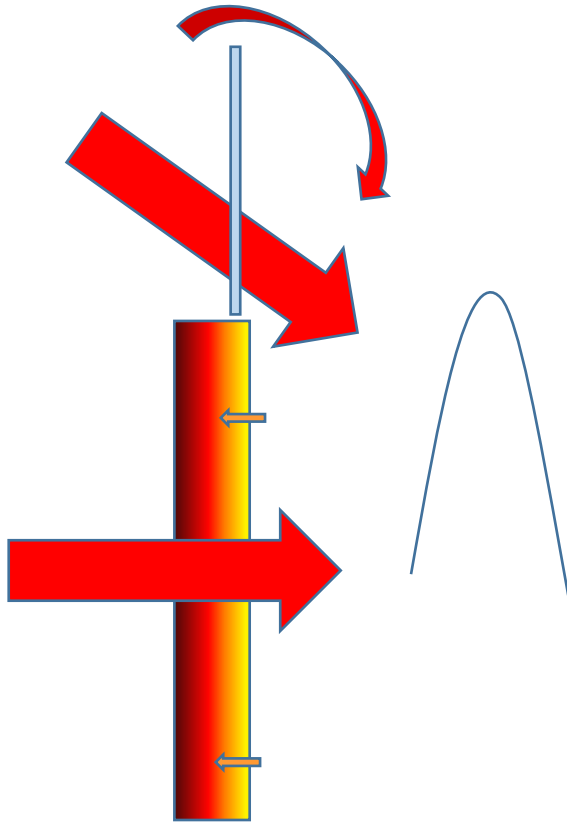
Estabilidad térmica

Edificio con capacidad para almacenar energía

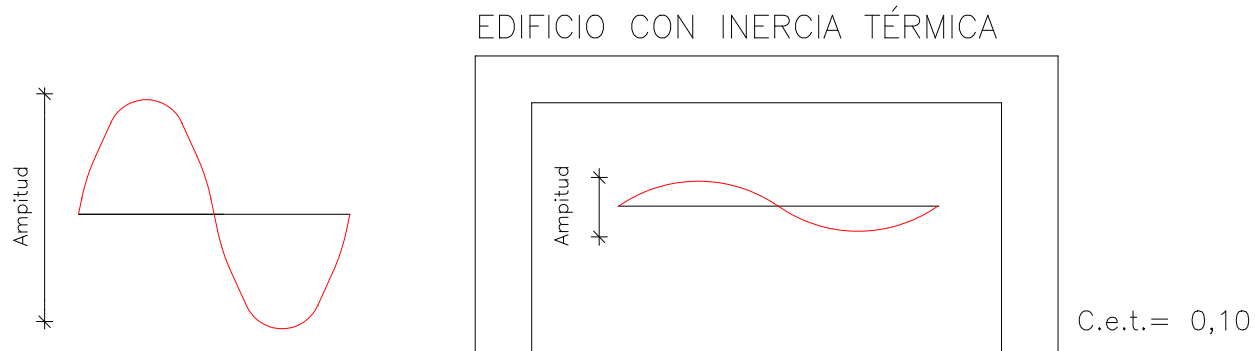
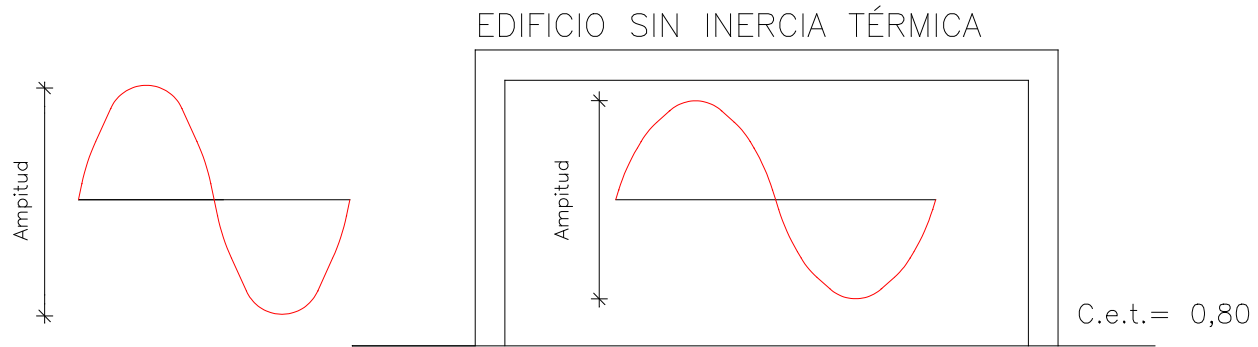


Estabilidad térmica

Edificio sin capacidad para almacenar energía



Coeficiente de Estabilidad Térmica



Fluctuación de la
temperatura exterior

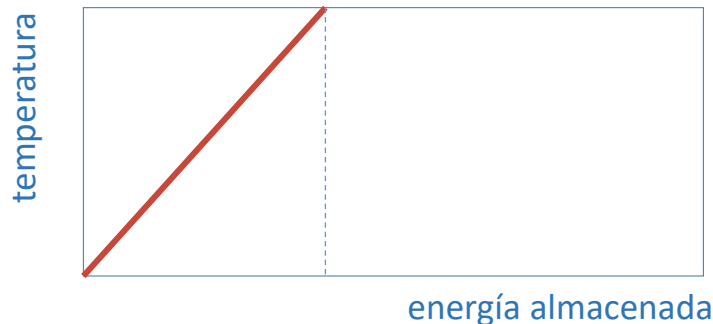
Fluctuación de la
temperatura interior

Almacenamiento en forma de calor sensible

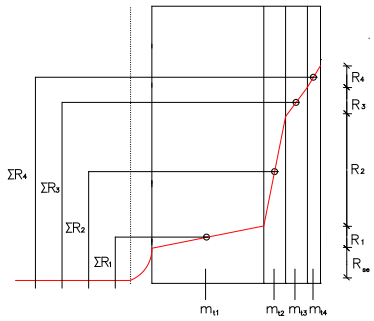
- Masa: $m = V \cdot \rho$
- Masa térmica: $m_t = V \cdot \rho \cdot c_e$

INERCIA TÉRMICA

- Energía almacenada: $Q = m_t \cdot \Delta T = V \cdot \rho \cdot c_e \cdot \Delta T$
 $Q = m_t \cdot \Delta T = V \cdot \rho \cdot 1 \cdot \Delta T$

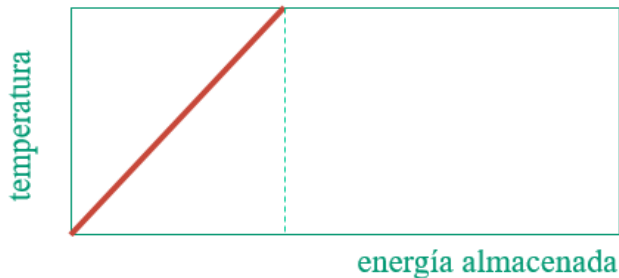


Colocación del aislamiento térmico: Masa térmica útil en la envolvente y las particiones

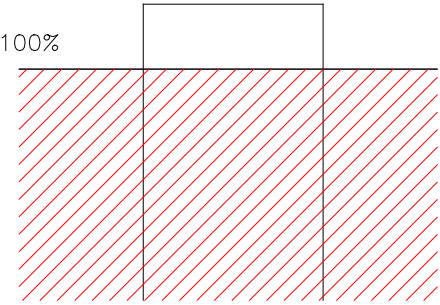


$$CTT = (R_{se} + 0,5 \cdot R_1) \cdot m_{t1} + (R_{se} + R_1 + 0,5 \cdot R_2) \cdot m_{t2} + \dots + (R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + 0,5 \cdot R_n) \cdot m_{tn}$$

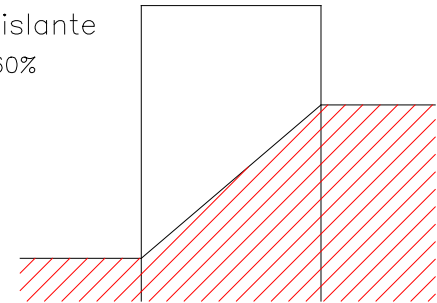
$$m_{tu} = \frac{CTT}{R_T}$$



Partición interior
aporte efectivo: 100%

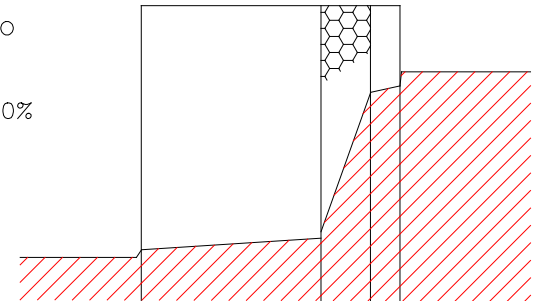


Cerramiento sin aislante
aporte efectivo: 60%



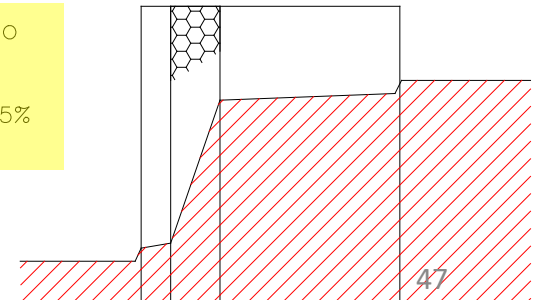
Cerramiento aislado por el interior
aporte efectivo: 10%

aporte efectivo: 10%



Cerramiento aislado por el exterior

aporte efectivo: 95%



Objetivos de la arquitectura bioclimática/sostenible

Edificio de energía casi cero

Edificio de energía cero

Edificio de energía positiva

- Captar energía renovable
- Almacenar energía
- Conservar energía
- Distribuir energía