

# Caracterización térmica de muros y simulación energética de un edificio histórico

Carlos Del Rincón Maravilla  
Julio 2012



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# Índice

- Introducción.
- Objetivos.
- Museo de Historia de Valencia.
- Datos experimentales de temperatura y humedad.
- Caracterización de los muros.
- Simulación energética.
- Conclusiones.

# Introducción

Los **edificios históricos** obtienen, a menudo, muy **buena nota en las pruebas energéticas**.

Las **paredes gruesas y ventanas pequeñas** dan una alta masa térmica, lo que significa que permanecen más cálidas en invierno y más frescas en verano que muchas casas modernas.

Siempre han sido bioclimáticos por necesidad, **hecho por la gente como respuesta directa a sus necesidades**, en una época donde la energía era realmente escasa y cara.

Esta arquitectura, que **no ha sido lo suficientemente estudiada**, es depositaria de una sabiduría validada por el método de "prueba y error".

# Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo principal **caracterizar los muros de un edificio histórico desde el punto de vista térmico.**

Museo de Historia de Valencia:

- Estudio comparativo sobre la **temperatura y humedad relativa** del interior del museo.
- Cálculo de los **valores de transmitancia** térmica de cada una de sus fachadas.
- Ensayos con **cámara termográfica.**

# Objetivos

La caracterización de muros resulta muy importante porque:

- Forma **parte de la envolvente** del edificio.
- Juegan un papel relevante en las **principales pérdidas de calor o frío**.

Minimizando las pérdidas podremos hacer un edificio **más eficiente**, en una época en la que se debe tener en cuenta el gasto energético y se pretende tener consciencia de una mayor sostenibilidad.

# Objetivos

Se modelizará y simulará energéticamente el museo mediante un software llamado **Design Builder**:

- **Cálculo** energético y ambiental **del estado actual**.
- Creación de mas **simulaciones aplicando cambios** y estudiando los resultados.
- **Propuesta de mejora** para reducir la demanda energética.

# Museo de Historia de Valencia

El edificio a analizar es el **Museo de Historia de Valencia**, que se encuentra en Mislata calle Valencia, 42.



# Museo de Historia de Valencia

El edificio que lo acoge **nació como depósito general de aguas potables** de la ciudad y durante más de un siglo desempeñó dicho cometido.



El depósito esta formado por un laberinto de **doscientos cincuenta pilares** que sostienen una cubierta formada por once **bóvedas de medio** punto realizadas con ladrillos procedentes de Manises y Aldaya.

Entre **1998 y 2001, se hicieron obras de restauración** que albergan desde entonces las dependencias del museo.

# Museo de Historia de Valencia

- **Fachada norte** → Es **la fachada principal** del edificio, donde está situada la puerta de entrada principal del museo, aproximadamente el **50% es medianera** con un edificio contiguo.
- **Fachada este** → Está **semienterrada** (a excepción de acceso)
- **Fachada sur** → Está **semienterrada** (a excepción de acceso)
- **Fachada oeste** → Es **prácticamente medianera** a (excepción de las dos esquinas)

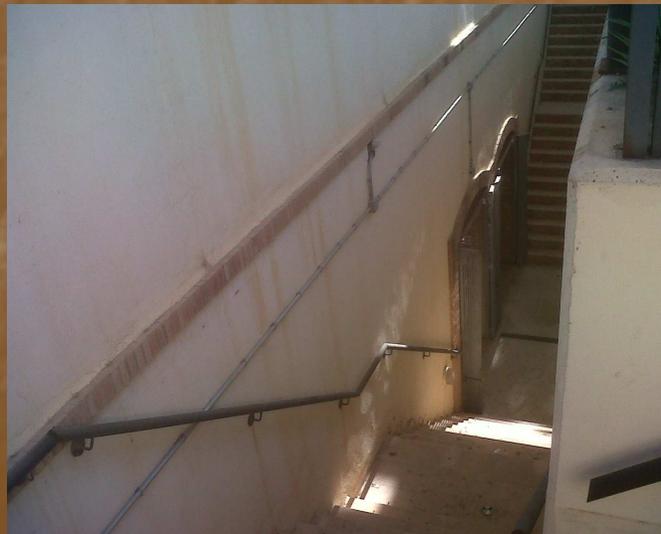
# Museo de Historia de Valencia



Fachada norte



Fachada este



Fachada sur

# Datos experimentales de temperatura y humedad

Recogida de datos de temperatura y humedad relativa de Diciembre 2011 a Mayo 2012.

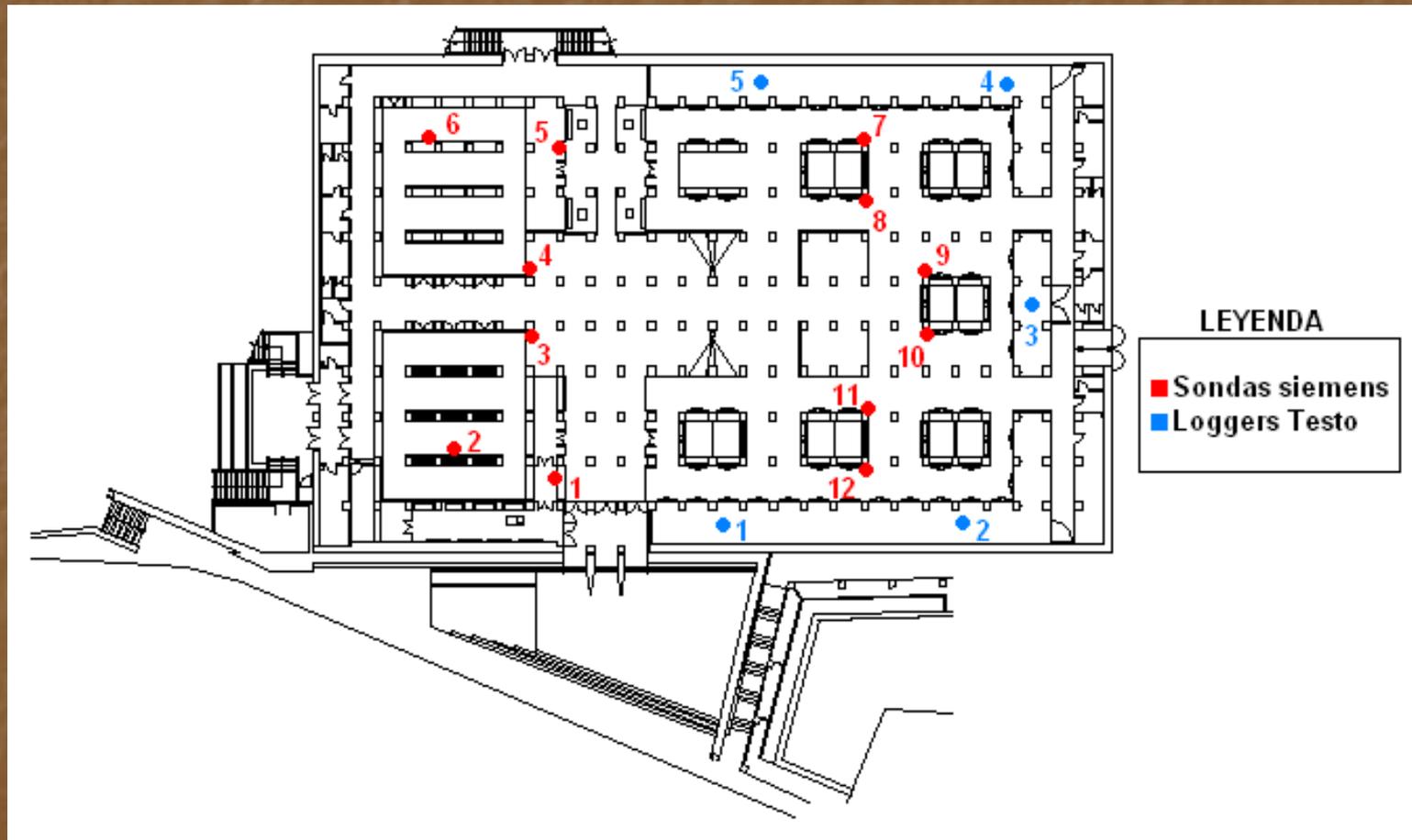


- Data logger 175 –H2 de **Testo**  
**Vitrinas**



- Sondas Symaro de **Siemens**  
**Sala del museo**

# Datos experimentales de temperatura y humedad



Situación de las sondas repartidas por el interior del museo.

# Datos experimentales de temperatura y humedad

**Análisis de los resultados:** se ha analizado los resultados de cada una de las 17 sondas con el objetivo de **detectar valores excesivamente altos o bajos**, fuera del rango de lo que se considera confortable y eficiente energéticamente. *[RITE]*

- Invierno: Temperatura: 20 - 23° C
- Humedad relativa: 40 - 60%
- Verano: Temperatura: 23 - 25° C
- Humedad: 40 - 60%

También se ha buscado la existencia de **cambios de temperatura o humedad relativamente bruscos entre sondas de diferente zona** y más peculiaridades, que podrían ser síntomas de alguna manifestación patológica, que conlleve pérdidas de calor o filtraciones.

# Datos experimentales de temperatura y humedad

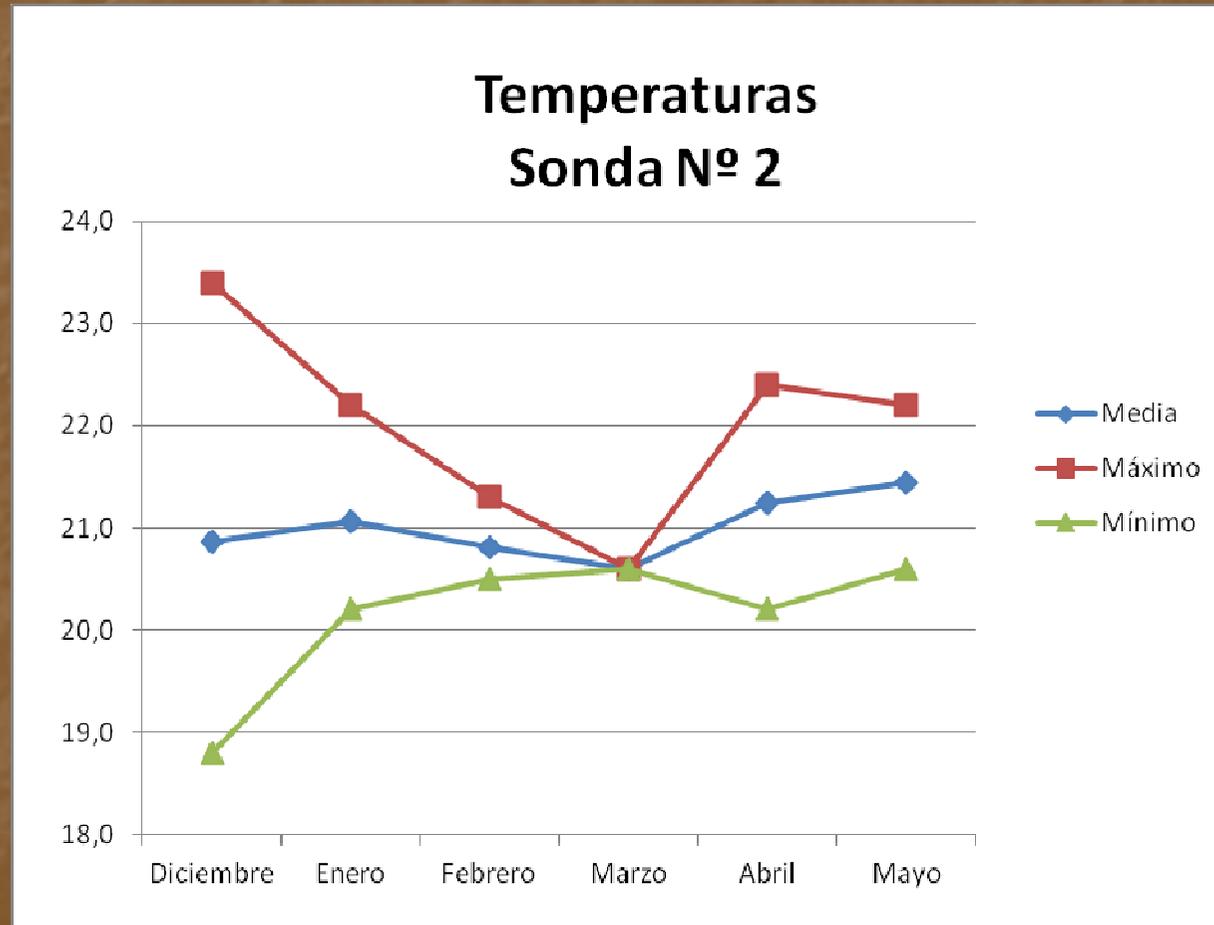


Gráfico de temperatura de la sonda N°2.

# Datos experimentales de temperatura y humedad

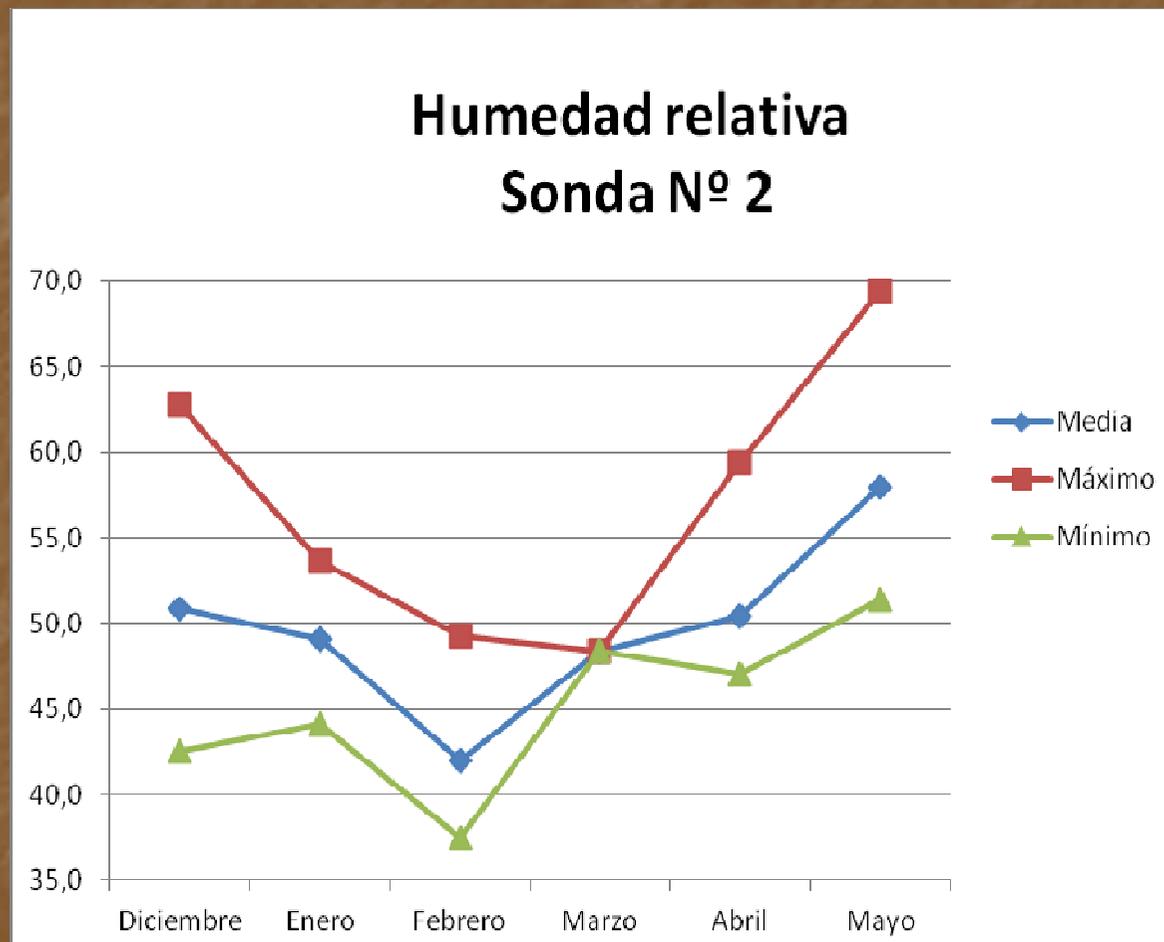
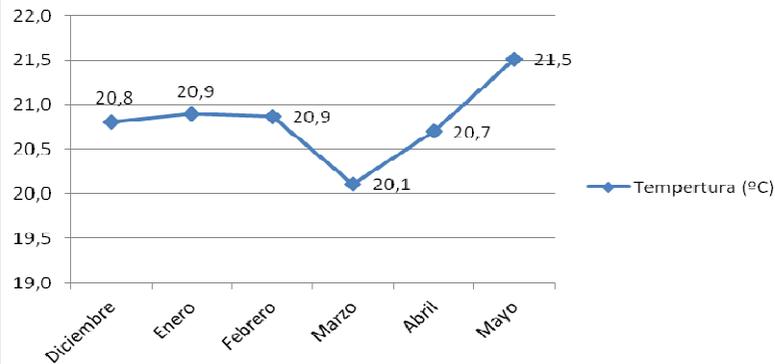


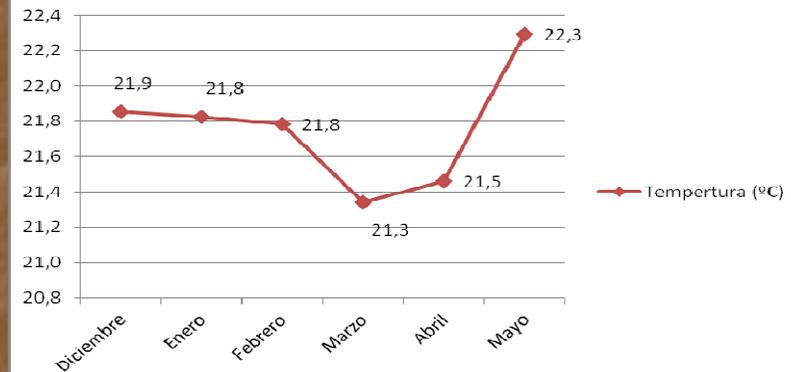
Gráfico de humedad relativa de la sonda N°2.

# Datos experimentales de temperatura y humedad

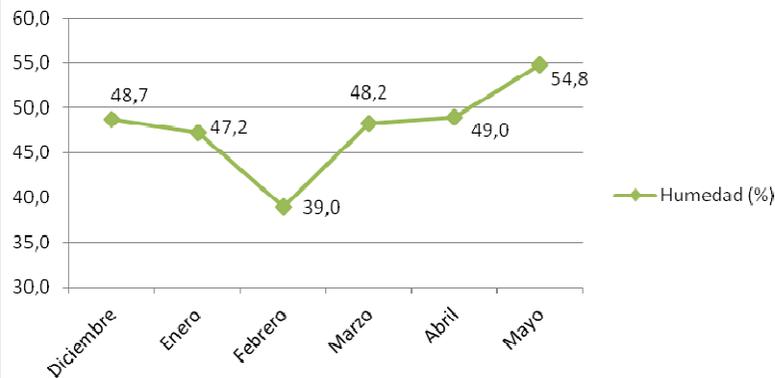
## Temperatura media de las 12 sondas de la sala



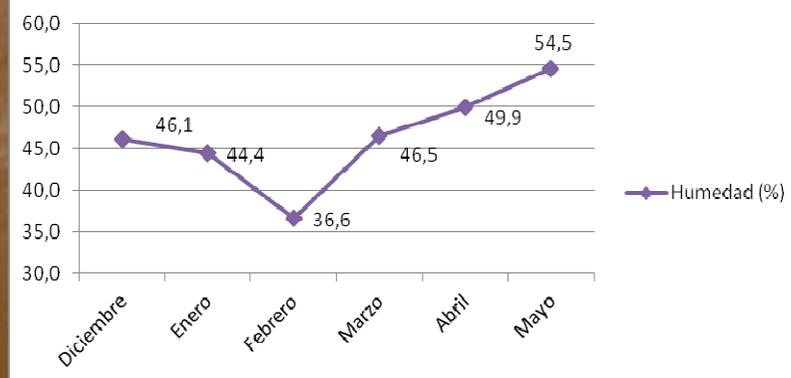
## Temperatura media de las 5 sondas de vitrina



## Humedad media de las 12 sondas de la sala



## Humedad media de las 5 sondas de vitrina



# Caracterización de los muros

- **Cálculo de valores de transmitancia térmica** de los muros.

*Apéndice E del DB HE Ahorro de energía del CTE.*

Este documento divide los cálculos de transmitancia de cerramientos en dos grupos:

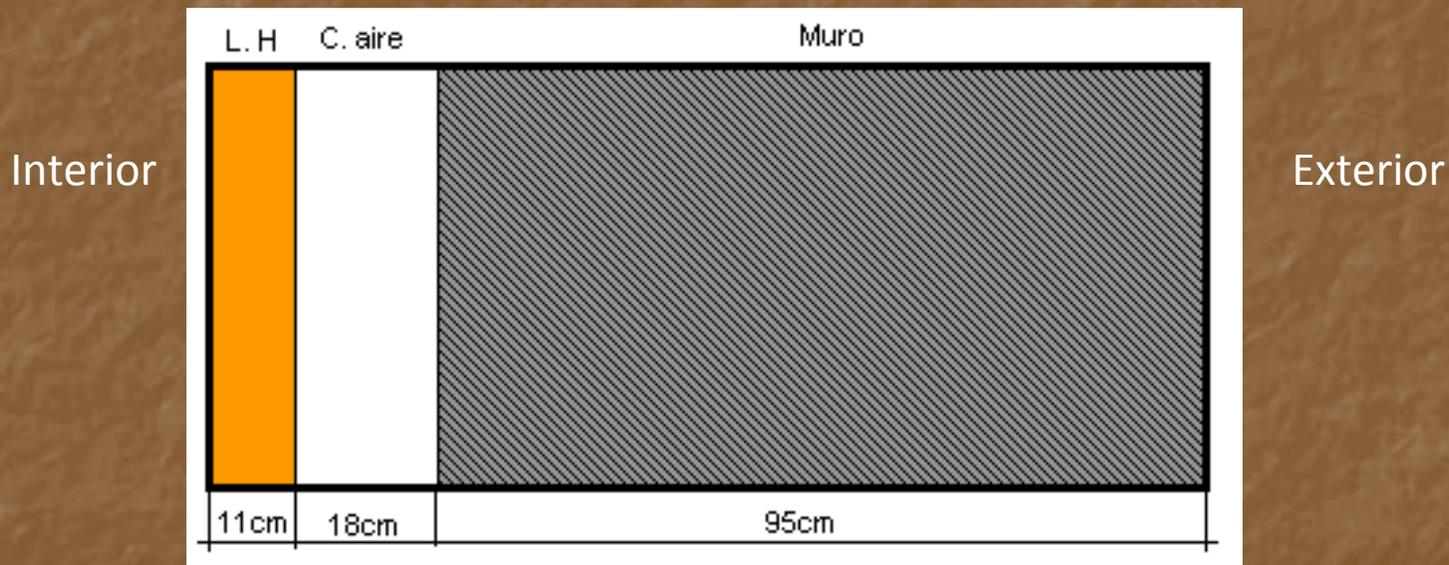
- Cerramientos en contacto con el aire exterior → Existen 2 tipologías en el museo (Fachada principal y resto de cerramientos).
- Cerramientos en contacto con el terreno.

- Análisis mediante **cámara termográfica.**

# Caracterización de los muros

## Cálculo de valores de transmitancia térmica

- Cerramientos en contacto con el aire exterior → Parte de las fachadas sur, este y oeste.

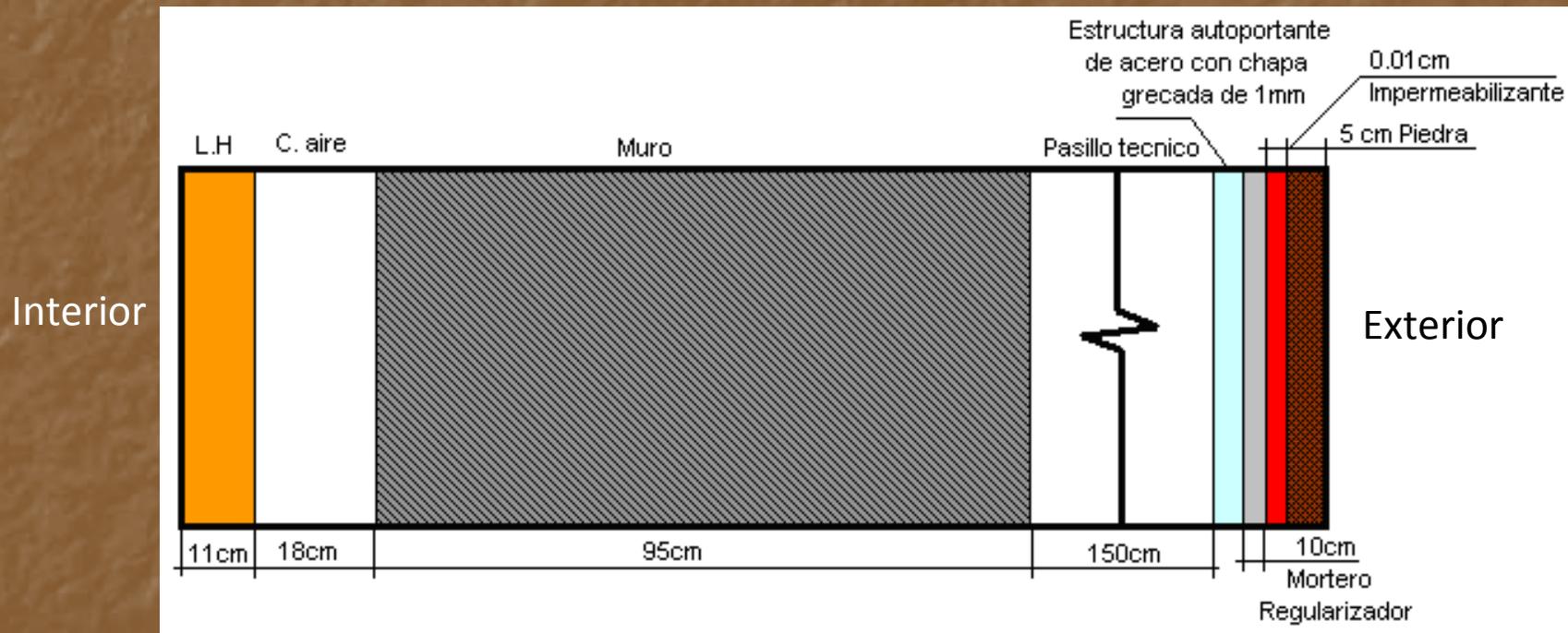


$$U = 0,623 \text{ W/m}^2\text{K.}$$

# Caracterización de los muros

## Cálculo de valores de transmitancia térmica

- Cerramientos en contacto con el aire exterior → Fachada principal.

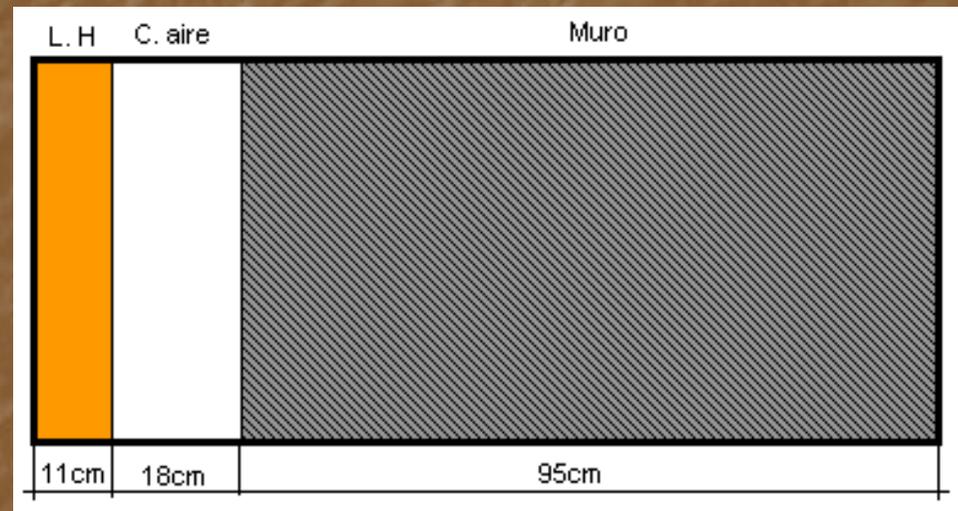
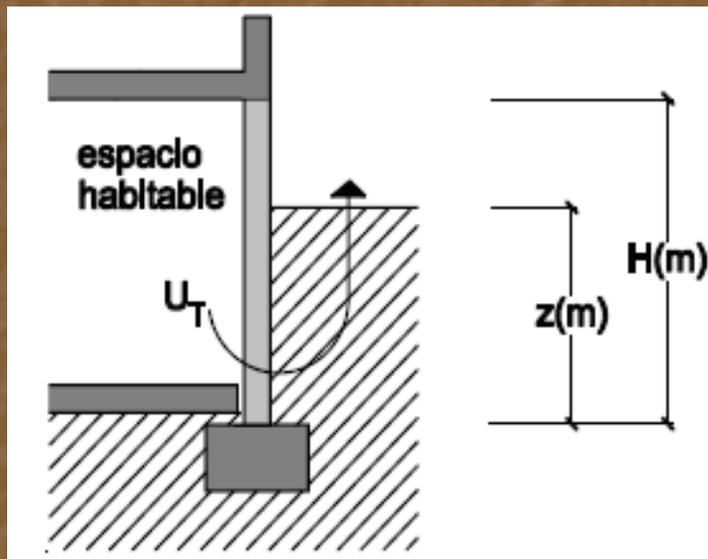


$$U = 0,470 \text{ W/m}^2\text{K.}$$

# Caracterización de los muros

## Cálculo de valores de transmitancia térmica

- Cerramientos en contacto con el terreno → Parte de las fachadas sur, este y oeste.



$$U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K.}$$

# Caracterización de los muros

## Cálculo de valores de transmitancia térmica

Según el *CTE, DB HE Ahorro de energía*, para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 2.1 en función de la zona climática en la que se ubique el edificio.



Cumplen todos ✓

### ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,30$

### Valencia es zona B3:

- Muros en contacto con el terreno  
 $0,44 < 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Muros en contacto con el aire exterior  
 $0,623 < 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Cerramiento de la fachada principal  
 $0,470 < 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica

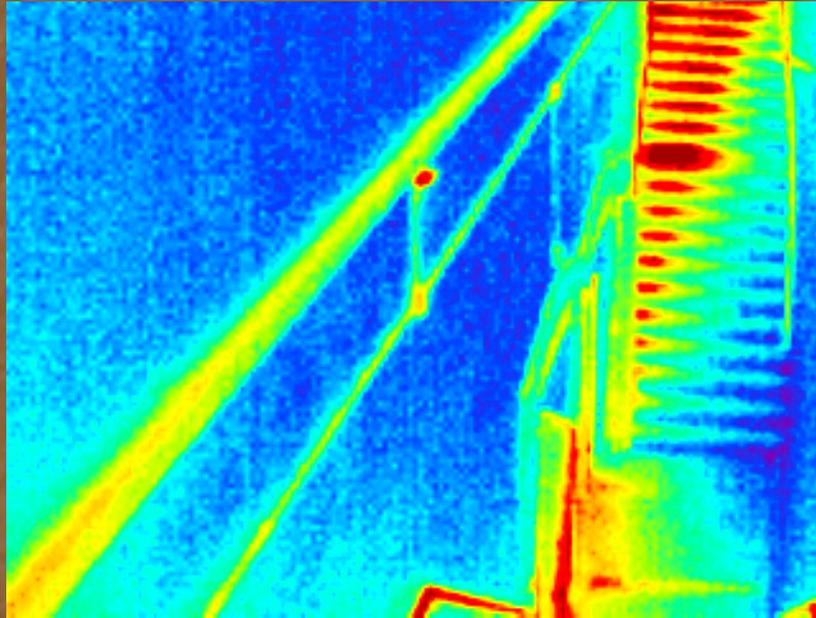
Para el proyecto se han realizado **fotografías termográficas** desde el exterior a cada uno de los muros del edificio con la intención de detectar posible fugas de calor/frío, infiltraciones de aire o cualquier otra manifestación patológica, que provoque un derroche energético innecesario.

La toma de imágenes termográficas son captadas por medio de la cámara testo 875-1 de Testo. **Realizadas la primera semana de Junio.**

Como las dimensiones de los muros son demasiado grandes como para realizar una foto termográfica por fachada y que se aprecien los resultados con detalle y claridad, **se han fotografiado los muros por partes**, bordeando el perímetro. Empezando desde la fachada Sur hacia el oeste.

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica



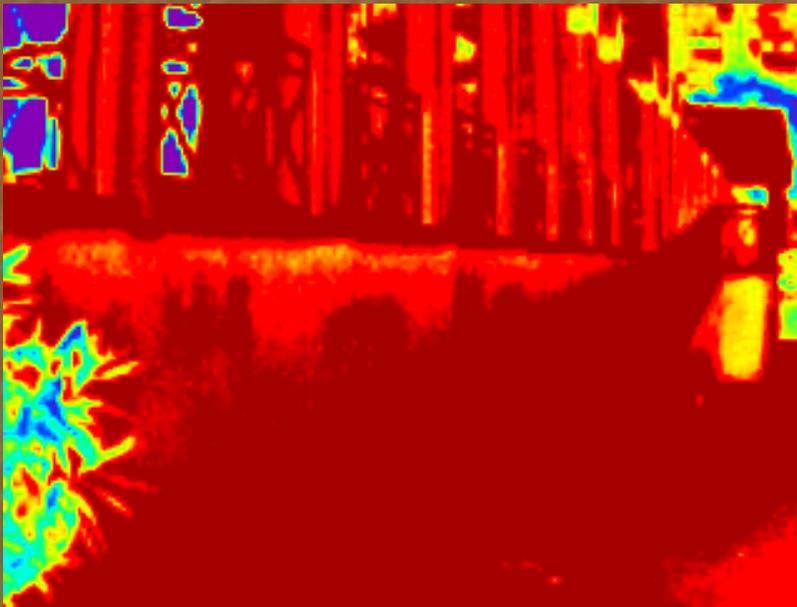
**Puerta trasera del patio de la fachada sur** y las escaleras que llevan a cota cero.

No se aprecia ningún tipo de puente térmico o pérdidas de frío.

**Le esta dando sombra y esta fría.**

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica



**Parte de la fachada sur.**

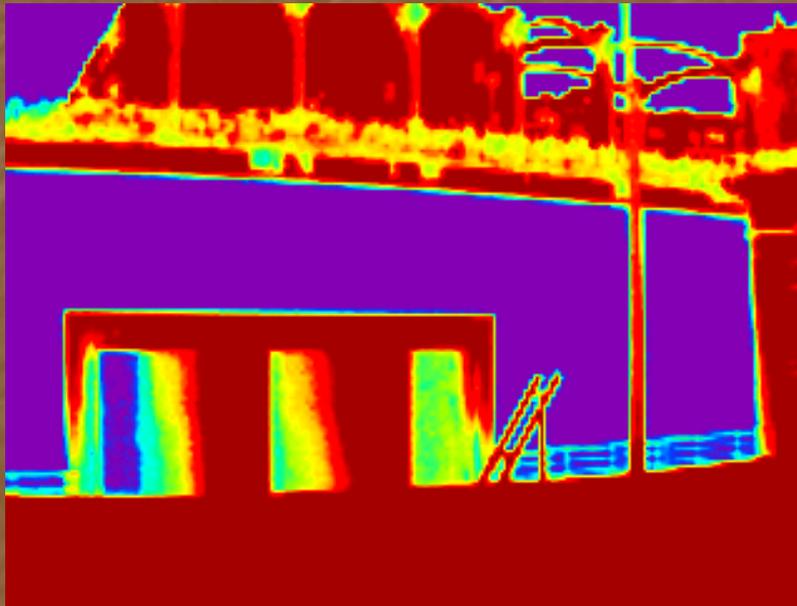
Situada a unos 10m aproximadamente hacia el oeste de la fotografía anterior.

**No existen puertas ni ventanas** y no tiene ninguna patología que provoque pérdida de frío del interior.

**La zona oeste del museo es medianera** por lo que no se han podido realizar fotografías de la misma.

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica



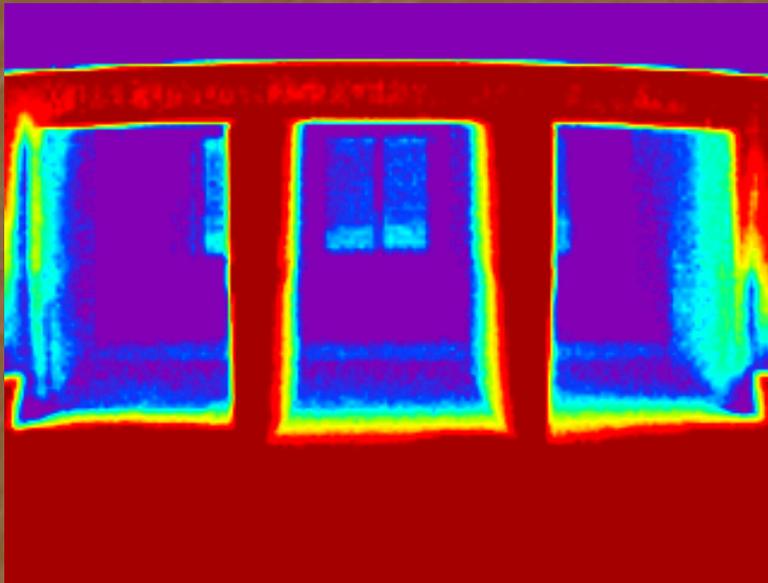
Fachada norte principal del museo.

La **zona morada** de la fachada significa que **la temperatura es baja**.

**Sistema** instalado **que vierte agua** desde la cornisa y se desliza por el aplacado de piedra para ser recogida abajo por unos canales.

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica



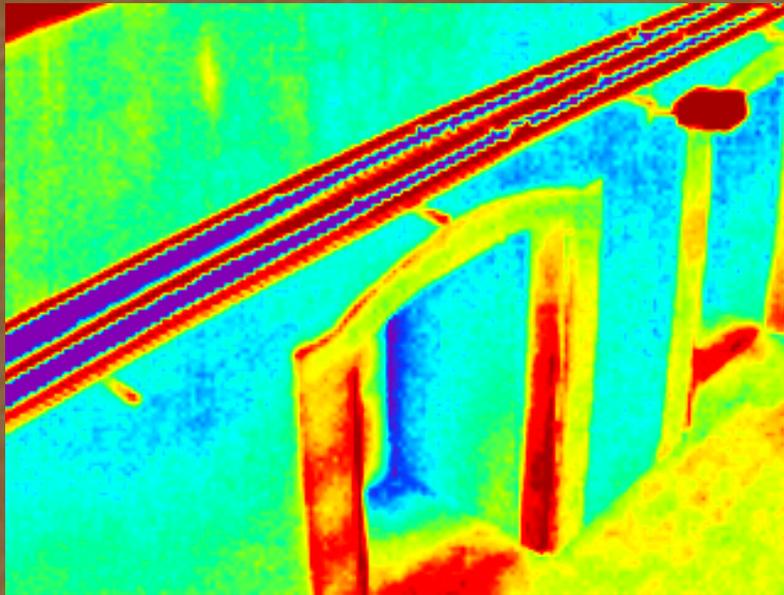
**Puerta principal del museo.**

Los **tonos rojizos** marcan la **temperatura más alta**.

Según vas entrando al vestíbulo se puede apreciar como la gama de colores cambia de calidos a fríos, llegando finalmente al **morado** que representa **la temperatura más baja** de la fotografía.

# Caracterización de los muros

## Análisis con cámara termográfica



Fachada Este.

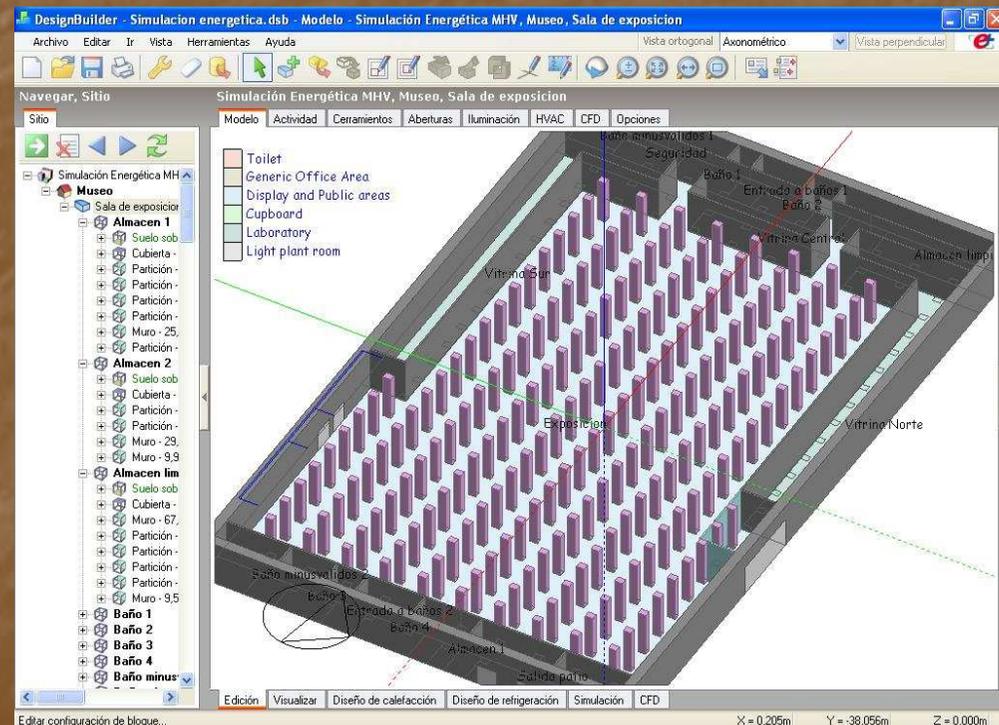


El paramento de la fachada **está frío por que da sombra**. Las marcas **rojas** de forjado, jambas y dinteles están hechos de **otro material capaz de mantenerse mas caliente**. La **zona morada** que colorea el contorno de la puerta, significa que existen **pérdidas de frío** por las ranuras.

# Simulación energética

El **software utilizado para la simulación energética** del edificio analizado es **Design Builder**, un programa que se desarrolla como un entorno de modelización de edificios intuitivo y visual sobre el que se integran diferentes módulos para el **cálculo energético y ambiental de los edificios**.

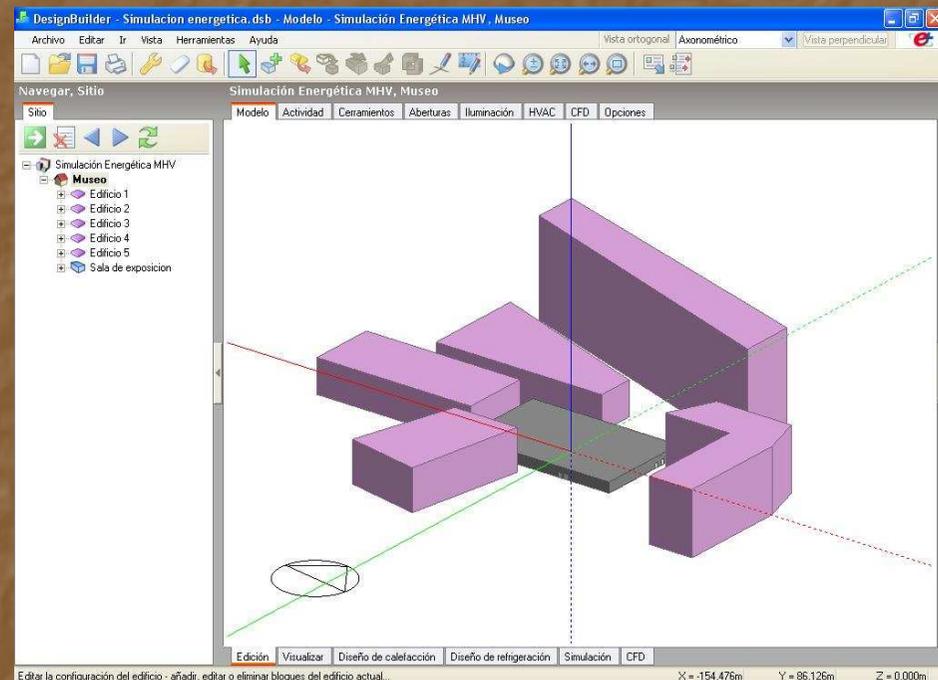
Utiliza la última versión del motor de simulación **Energyplus** para realizar los cálculos energéticos. Es un motor de cálculo reconocido a nivel mundial, y en continuo desarrollo por el Departamento de Energía de los EEUU.



# Simulación energética

## Modelado y simulación del estado actual del Museo de Historia de Valencia

La jerarquía con la que funciona el programa es la siguiente: el edificio está conformado por **bloques**, que pueden dividirse a su vez en **zonas**, dibujando particiones en su interior. Para cada una de estas zonas se escoge un **uso y plantilla**, se le aplican las características concretas de los **elementos que componen la envolvente**, se seleccionan los **materiales de su composición y la disposición** de los mismos. Después se escoge qué tipo de **instalaciones** tiene para climatización y fontanería y el resto de detalles que completan el diseño para asemejarlo al edificio real.



# Simulación energética

## Modelado y simulación del estado actual del Museo de Historia de Valencia



De julio a septiembre → Supera los 25° → **Demasiado calor, fuera del rango de confort.**

Temperatura media anual interior del museo → 23°

Humedad relativa → 54,5%

Horas de desconfort → 886,19 h

Total de combustibles → 481 MWh

# Simulación energética

## 1º Simulación

- Objetivo → **Reducción del valor de temperaturas en verano.**
- Se tiene en cuenta que al ser un **edificio histórico con valor patrimonial** no se puede intervenir en la estructura y gran parte de sus elementos. Por ello, la primera simulación será cambiar la configuración de los aparatos de climatización, de tal modo que se consiga reducir la temperatura en los meses de julio, agosto y septiembre.
- Los aparatos de climatización del museo están configurados de la siguiente forma:
  - Calefacción 22° → Retroceso 20°
  - Refrigeración 25° → Retroceso 28°
- Cambio en la configuración de la refrigeración de los aparatos:
  - Refrigeración 24° → Retroceso 26°

# Simulación energética

## 1º Simulación

### ■ Resultados:



Siguen siendo **temperaturas demasiado altas.**

Temperaturas interiores en julio y agosto → 26° y 27°

**Fuera del rango de temperaturas confortables.**

# Simulación energética

## 2º Simulación

- Objetivo → **Reducir más el valor de temperaturas en verano.**
- Cambio en la configuración de la refrigeración de los aparatos:  
Refrigeración 23º → Retroceso 25º



Temperaturas interiores → Rondan los 25º en agosto.

Se considera una **temperatura confortable** en el mes más caluroso del año.

# Simulación energética

## 2º Simulación

- Más resultados:

La temperatura media anual se reduce un  $1^{\circ} \rightarrow 22^{\circ}$

La humedad relativa se mantiene  $\rightarrow 55\%$

**Las horas de discomfort se reducen un 60%**

$\rightarrow$  De 886h a 375h

- **Inconveniente**  $\rightarrow$  Para reducir las temperaturas los aparatos de climatización han trabajado más y **el consumo de los mismos se ha incrementado.**

Los valores de calefacción han subido de 105 a 112 MWh y los de refrigeración de 75 a 114 MWh.

# Simulación energética

## 3º Simulación

- Objetivo → **Reducir el consumo de los aparatos de climatización.** Para ello, la idea es conseguir que el calor/frío consiga mantenerse por más tiempo en el interior, evitando pérdidas, puentes térmicos y consiguiendo un mayor aislamiento.
- Cambio → **Sustitución de las puertas exteriores** que tenía por otras con un valor menor de transmitancia térmica, con menor porcentaje de puente térmico y en consecuencia con mayor aislamiento térmico.
- Resultados → La calefacción consume 111 MWh y la refrigeración 114 MWh. En comparación con la anterior simulación, **el consumo** de calefacción baja solo 1 MWh y la refrigeración **se mantiene.**

Eso se debe a que el porcentaje de huecos en el museo es muy pequeño para el espacio total de la sala, no existen ventanas y la diferencia entre el valor de transmitancia térmica de las puertas no es tan grande como para apreciar notablemente una diferencia de aislamiento y en consecuencia reducir el consumo.

# Simulación energética

## 4º Simulación

- Objetivo → **Reducir el consumo de los aparatos de climatización.**
- Cambio → **Mejora el aislamiento térmico de todos los muros de cerramiento** del edificio → Colocación de placas de lana de vidrio de 10cm de espesor en la cara interior del muro.
- Resultados:

El consumo de la **calefacción ha bajado** a 104 MWh y el de la **refrigeración se mantiene** en 114 MWh.

Consumo total → 518 MWh.

# Simulación energética

Tabla comparativa de consumos de todas las simulaciones.

Consumo (MWh)	Estado actual	1º Simulación	2º Simulación	3º Simulación	4º Simulación
Generación de calor	106	93	114	114	114
Enfriadora	74	108	112	111	103
Total combustible	481	501	526	524	518
Config. T <sup>a</sup> para calor	22º-20º	22º-20º	22º-20º	22º-20º	22º-20º
Config. T <sup>a</sup> para frío	25º-28º	24º-26º	23º-25º	23º-25º	23º-25º

# Simulación energética

## Propuesta de mejora

- Los **cerramientos del museo actualmente se comportan muy bien térmicamente** y no tienen grandes pérdidas de calor/frío.
- **No resulta económicamente rentable una mejora de aislamiento** por la poca diferencia en el ahorro de consumo después de aplicar los cambios.
- Por ello, se propone una **mejora** en la configuración de los aparatos de climatización → **2º simulación.**
- Los valores de generación de calor se mantienen y los valores de generación de frío se sustituyen: :

Calefacción 22º	Refrigeración 25º → 23º
Retroceso 20º	Retroceso 28º → 25º
- De esta forma, se consigue el **confort adecuado subiendo un poco el consumo de los aparatos.**

# Conclusiones

- Los resultados del cálculo de **transmitancia térmica** de los cerramientos del museo que están **en contacto con el terreno**, que son gran parte de las fachadas este y sur son los que menor valor de transmitancia tienen y por tanto que los **mejor aíslan** térmicamente. Les sigue el muro norte de la fachada principal que tiene mayor espesor. Y por último las que **peor se comportan** son las partes de las fachadas este y sur que están **en contacto con el aire exterior**.
- La temperatura y humedad que consiguen mantener los aparatos de climatización del museo en el ambiente esta sincronizada y los resultados de los datos recogidos durante el periodo de investigación, **no muestran una gran diferencia de temperatura y humedad entre las diferentes zonas del museo**.

# Conclusiones

- **Los ensayos realizados con la cámara termográfica** Testo nos muestran que se **pierde frío por las ranuras** de todas las puertas exteriores, sobre todo por la principal, y que **no existen puentes térmicos ni manifestaciones patológicas** en ninguna otra zona de los cerramientos.
- **Después de modelar y simular térmicamente** el museo mediante el software Design Builder e incorporar modificaciones en las configuraciones de los aparatos de climatización y mejoras en algunos elementos de los cerramientos, podemos llegar a la conclusión de que **los muros actuales del museo, tal y como están, tienen mucha inercia térmica y aíslan muy bien**. Esto se debe a su gran espesor y poco porcentaje de huecos respecto al espacio total de la sala.

## Titulación

Grado en Ingeniería de la Edificación

## Alumno

Carlos Del Rincón Maravilla

## Tutores

Isabel Tort Ausina y Andrea Salandin



Julio 2012



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA