



Caracterización térmica de muros y simulación energética de un edificio histórico

CARLOS DEL RINCÓN MARAVILLA
Grado en Ingeniería de la Edificación

ÍNDICE

1. Introducción y Objetivos. _____	1
1.1. Justificación. _____	1
1.2. Objetivos. _____	4
2. Marco normativo en eficiencia energética. _____	5
2.1. Marco normativo en Europa. _____	5
2.2. Marco normativo en España. _____	7
3. Termodinámica. _____	17
3.1. Mecanismos de transmisión de calor. _____	19
3.1.1. Conducción. _____	19
3.1.2. Convección. _____	22
3.1.3. Radiación. _____	23
3.2. Terminología. _____	27
4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental. _____	29
4.1. Orientación y protección solar del edificio. _____	29
4.2. Aislamientos térmicos e inercia térmica. _____	30
4.3. Distribución de las estancias. _____	31
4.4. Iluminación natural. _____	31
4.5. Iluminación artificial. _____	31
4.6. Gestión de residuos. _____	32
4.7. Condiciones de confort. _____	33
4.8 Reducción del consumo de agua. _____	34
4.8.1. Reducción de los consumos energéticos producidos por el agua caliente sanitaria. _____	35

4.9. Ruidos. _____	35
4.10. Materiales y colores. _____	37
5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia. _____	39
5.1. Emplazamiento y orientación. _____	42
5.2. Memoria constructiva. _____	45
6. Datos experimentales de temperatura y humedad. _____	49
6.1. Recogida de datos experimentales. _____	49
6.2. Análisis de resultados. _____	62
7. Caracterización de los muros. _____	71
7.1. Cálculo de valores de transmitancia. _____	71
7.2. Análisis mediante cámara termográfica. _____	87
7.2.1. Conceptos termográficos. _____	88
7.2.2. Marca y distancia de medición. _____	89
7.2.3. El objeto medido y su entorno. _____	90
7.2.4. Resultados de la cámara termográfica. _____	92
8. Simulación energética. _____	99
8.1. El software Design Builder. _____	99
8.1.1. Modelado. _____	100
8.1.2. Visualización. _____	102
8.1.3. Motores de simulación. _____	103
8.1.4. Exportación. _____	106
8.2. Modelado y simulación del estado actual del Museo de Historia de Valencia. _____	107
8.3. Análisis y comparación de los resultados de las simulaciones. _____	115
8.4. Propuesta de mejora. _____	123
9. Conclusiones. _____	125
10. Bibliografía. _____	127
11. Anexos. _____	129

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Justificación

El valor a largo plazo de un edificio depende de tres factores, la capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios, de las condiciones medioambientales variables y de la evolución de las expectativas sobre calidad del proyecto.

Por lo tanto, los edificios bien ventilados e iluminados, que tengan un consumo mínimo de energía y que resulten atractivos a los consumidores constituirán una inversión más sólida y duradera que los dependientes de combustibles fósiles o los que no permitan una vida saludable. Como consecuencia, la prolongación de la vida útil del edificio ya construido y la conservación de su valor como inversión a largo plazo van a depender de una serie de intervenciones de rehabilitación destinadas a mejorar la construcción en función de los factores enumerados.

Pero los edificios históricos obtienen, a menudo, muy buena nota en las pruebas energéticas. Las paredes gruesas y ventanas relativamente 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 y valores, 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" que ha demostrado su capacidad de adaptación al medio.

1. Introducción y objetivos

De hecho, en gran parte de los cascos urbanos europeos, los edificios construidos con anterioridad al S. XX, han sido objeto de procesos de intervención en sentido contrario; inicialmente con bajo consumo energético, han sufrido la introducción de una serie de instalaciones de calefacción, saneamiento, fontanería, derrochadoras de agua y combustibles fósiles.

No ha sido hasta 1970 cuando se ha comenzado a considerar el proyecto ecológico como una materia docente. Sin embargo, la preocupación por la ecología se puede rastrear ya en textos antiguos, como por ejemplo el tratado de arquitectura de Vitrubio, donde se habla ya de la conveniencia de una buena orientación, de la posición respecto al viento, la configuración de ciudades y orientación de las calles. Aun así, el concepto de bioclima es más moderno y cristaliza en los años en torno a 1960, con arquitectos como Buckminster Fuller y Reiner Banham.

La investigación científica sobre la mejora de la eficiencia energética en la edificación, hoy en día, supone un campo muy extenso donde a lo largo de décadas se han realizado desarrollos de métodos eficaces y viables para la evaluación, intervención y gestión energética en la edificación. Pero sin embargo estos desarrollos se circunscriben, sobre todo, a la edificación nueva, dejando la edificación existente, mucho menos estudiada.

Se han realizado contados estudios con un acercamiento sistémico a la edificación tradicional para determinar su comportamiento energético específico, monitorizando las temperaturas y la humedad relativa para determinar la interacción entre los diferentes subsistemas que componen su estructura energética. Los resultados de estas investigaciones concluyen que los edificios tradicionales son sistemas interactivos con propiedades bioclimáticas más complejas que los edificios más modernos y no necesariamente peores desde el punto de vista energético. Su diseño tiene en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se ubican para mantener el confort térmico sin sistemas mecánicos.

De aquí se concluye que es necesario estudiar cada edificio cuidadosamente y entender su comportamiento natural antes de una intervención de

1. Introducción y objetivos

rehabilitación, ya que si no se corre el peligro de modificar el equilibrio higrotérmico de estos edificios con el resultado de la aparición de manifestaciones patológicas.

1.2. Objetivos

El proyecto tiene como objetivo principal caracterizar los muros de un edificio histórico desde el punto de vista térmico. En particular del Museo de Historia de Valencia. Para ello se calcularán los valores de transmitancia térmica de cada una de sus fachadas, se hará una serie de ensayos con cámara termográfica y se realizará un estudio comparativo sobre la temperatura y humedad relativa del interior y exterior del museo.

Se modelizará y simulará energéticamente el museo mediante un software llamado Design Builder, para llegar a hacer un cálculo energético y ambiental del estado actual y proponer soluciones para reducir la demanda energética.

La caracterización de muros resulta muy importante porque, como parte de la envolvente del edificio, juegan un papel relevante en las principales pérdidas de calor, o las ganancias en épocas estivales. Así, 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.

Como marco general, también se analizarán las peculiaridades de un estudio energético en el caso particular de un edificio histórico, con valor patrimonial.

2. MARCO NORMATIVO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

2.1. Marco normativo en Europa

La Unión Europea (UE) dio impulso al proyecto sostenible a mediados de la década de 1980, a través de la directiva 85/383/CEE, por el cual exigía niveles de formación, estándares profesionales y códigos deontológicos para la prestación de servicios profesionales de arquitectura en Europa.

El Acta única Europea introdujo unas normas mínimas a cumplir para garantizar la coherencia de estos servicios en los países de la UE. Ello produjo un impacto importante, no solo en la formación de los estudiantes en campos de Arquitectura, sino en la reconversión de los profesionales en activo desde esa fecha. El libro verde UE 2001. Publicado en marzo de 2000, fija un marco sobre la responsabilidad de las empresas en el apartado de la sostenibilidad y sobre todo de la innovación en el campo de la sostenibilidad.

En 2010, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea aprobó un nuevo documento sobre la eficiencia energética de los edificios (Directiva 2010/31/EU, Unión Europea, 2010) que deroga y sustituye a la versión antigua, actualizando los temas de la versión anterior. Los temas principales del documento 2010 son:

- Una metodología de cálculo para eficiencia energética en los edificios.
- Los requisitos mínimos de eficiencia energética en edificios de nueva construcción.

2. Marco normativo en eficiencia energética

- Los requisitos mínimos de eficiencia energética en edificios sometidos a reformas importantes. (Elementos de construcción que forman parte de la envolvente del edificio y que tienen un impacto significativo sobre el rendimiento energético total del edificio, y sistemas técnicos constructivos).
- La certificación energética de edificios.
- Las inspecciones de calderas y sistemas de aire acondicionado.
- El sistema de control independiente para los certificados de eficiencia energética.

2.2. Marco normativo en España

La transición en la regulación del EPBD (Directiva sobre el rendimiento energético en los edificios) en España se realiza principalmente mediante el uso de tres documentos y un cuarto documento que se espera para el 1 de enero de 2013. A continuación se presenta los citados documentos.

a) Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación (Gobierno de España, 2006) es en realidad un compendio de documentos básicos.

La primera normativa sobre edificios se inició en 1957 por el Ministerio de Vivienda. Se presentó un conjunto de normas técnicas. En 1977, el gobierno creó las Normas Básicas de la Edificación (NBE-TC79), que eran una versión unificada de las normas del Ministerio de Vivienda y para completar este marco, se añadieron a las NBE las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).

En 1999, aparece la Ley 38/1999 de 5 de noviembre: Ley Orgánica de Edificación (LOE). El objetivo principal de esta ley era regular el sector de la construcción y el gobierno aprueba el Código Técnico de la Edificación, ya que la sociedad exigía más calidad en interiores, seguridad, protección del medio ambiente, etc.

El 2 de diciembre de 2003, la Ley 51/2003 de igualdad de oportunidades, indiscriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad, se dirigió a la CTE para importar las normas sobre accesibilidad en los edificios.

El viernes 17 de marzo de 2006, el Consejo de Ministros aprobó el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE).

El CTE representa el marco normativo que regulará el sector de la construcción de todos los edificios nuevos y la rehabilitación de los existentes, tanto destinados a viviendas como a uso comercial, docente, sanitario, deportivo, industrial o sociocultural. Esta norma recoge las exigencias básicas de calidad,

2. Marco normativo en eficiencia energética

seguridad y habitabilidad de los edificios y sus instalaciones, introduciendo elementos novedosos en materiales y técnicas de construcción con el objeto de lograr la edificación de edificios más seguros y eficientes desde un punto de vista energético y estableciendo requisitos que abarcan desde la funcionalidad hasta los relativos a seguridad y habitabilidad.

Representa la mayor reforma en materia de edificación llevada a cabo desde la aprobación de la Constitución y armoniza la reglamentación nacional en esta materia acorde con las disposiciones comunitarias.

España, tras la entrada en vigor el día siguiente de su publicación en el BOE, España se situará entre las naciones más innovadoras en materia de edificación cumpliendo las directivas europeas sobre calidad y eficiencia energética y fomentando la innovación y el desarrollo tecnológico tanto en los procedimientos de edificación como en los materiales de la construcción.

Hoy en día, el CTE es un marco que establece los requisitos de seguridad y habitabilidad que se presentaron en la Ley 38/1999 y los del Real Decreto 314/2006. Describe los procesos administrativos, como el marco legal, su alcance, las responsabilidades de los agentes de construcción, etc. Y se compone de seis documentos básicos (DB):

Documentos básicos de seguridad estructural SE.

Documento básico de seguridad en caso de incendio SI.

Documento básico de seguridad de utilización SU.

Documento básico de salubridad HS.

Documento básico de ahorro de energía HE.

Documento básico de protección frente al ruido.

Para el proyecto se utilizara el **Documento básico de ahorro de energía DB- HE.**

Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía. Las secciones de este DB se corresponden con las exigencias básicas HE 1 a HE 5. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento

2. Marco normativo en eficiencia energética

de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico "Ahorro de energía".

Tanto el objetivo del requisito básico "Ahorro de energía", como las exigencias básicas se establecen en el artículo 15 de la Parte I de este CTE y son los siguientes:

ARTÍCULO 15. EXIGENCIAS BÁSICAS DE AHORRO DE ENERGÍA (HE)

1. El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

2. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

3. El Documento Básico "DB HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

15.1 EXIGENCIA BÁSICA HE 1: LIMITACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y

2. Marco normativo en eficiencia energética

tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

15.2 EXIGENCIA BÁSICA HE 2: RENDIMIENTO DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

15.3 EXIGENCIA BÁSICA HE 3: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

15.4 EXIGENCIA BÁSICA HE 4: CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

En los edificios, con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, en los que así se establezca en este CTE, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio o de la piscina. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

2. Marco normativo en eficiencia energética

b) Real Decreto 47/2007

La Certificación de eficiencia energética de los edificios es una exigencia derivada de la Directiva 2002/91/CE y en España a través del Real Decreto 47/2007, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Por ello, los proyectos de edificios que soliciten licencia de obras deberán aplicar dicha normativa.

El decreto obliga a clasificar las nuevas construcciones con una etiqueta que informe a los compradores del grado de eficiencia del edificio. Se trata de que cada edificio disponga de una etiqueta con su calificación energética (de la A, que correspondería a los edificios más eficientes, a la G, los edificios menos eficientes) y en la que se incluya su consumo estimado de energía y las emisiones de CO₂ asociadas.

Los edificios son sistemas muy complejos, cuyo funcionamiento no se puede estimar de manera tan sencilla como en el caso de los electrodomésticos, ya que están sometidos a condiciones y hábitos de uso mucho más variables.

El objetivo de la certificación de edificios es incentivar a los promotores a construir edificios más eficientes y animar a la rehabilitación de edificios para que consuman menos energía. Una calificación más eficiente tendría una mejor imagen y facilitaría que el consumo de energía se convirtiera en un criterio más de compra por parte del consumidor. En este certificado, y mediante una etiqueta de eficiencia energética, se asignará a cada edificio una Clase Energética de eficiencia, que variará desde la clase A, para los energéticamente más eficientes, a la clase G, para los menos eficientes.

En resumen, la certificación energética quiere ser una evaluación cuantitativa y objetiva del comportamiento energético del edificio, que debe ser presentada de forma comprensible al usuario. Para realizar esa evaluación del edificio, se ha establecido una metodología de cálculo, y para hacer llegar los resultados al usuario, una etiqueta tipo.

2. Marco normativo en eficiencia energética

Metodología de cálculo: Opciones de cálculo para la aplicación práctica de la certificación de edificios

Los edificios son sistemas complejos, e intentar modelizarlos y compararlos es extremadamente difícil sin caer en simplificaciones. Por ello, a la hora de obtener la calificación del edificio, se ha propuesto poder escoger entre dos opciones (general y simplificada), y según la opción escogida se puede acceder a una clase de eficiencia u otra. Ello podría restar sentido y fuerza a la etiqueta, como veremos a continuación.

La opción general permite acceder a las calificaciones superiores (clases A, B, C). En ella se utilizan los programas ya nombrados, LIDER y CALENER. Dentro de esta opción, se ha realizado una distinción entre los edificios destinados a viviendas y el resto, ya que en los primeros se puede esperar un comportamiento más homogéneo que en los segundos, que incluyen usos más diversos como hospitales, edificios agrícolas, locales comerciales, etc. Para los edificios no residenciales (nuestro caso) en los que sería muy difícil generar unas tipologías estándar con sus correspondientes consumos y emisiones estimados, la comparación se realiza con un edificio ficticio, llamado edificio de referencia, que se caracteriza por tener el mismo diseño que el edificio a calificar y cumplir los requisitos mínimos que marca el CTE. La opción simplificada se basa en el cumplimiento de los mínimos que marca el CTE. Si se utiliza esta metodología más sencilla para el cálculo de la eficiencia del edificio, sólo se pueden obtener las clases D o E. Por ello, un edificio podría obtener una calificación más baja si en el cálculo se utiliza la opción simplificada que si se utiliza la opción general. La clase de eficiencia en este caso se obtiene de manera indirecta, a través de soluciones técnicas que mejorarían el comportamiento energético del edificio respecto a los requisitos básicos que marca el CTE. En nuestro caso aplicaremos la opción general de cálculo, para edificios no residenciales.

Etiqueta y clases de eficiencia energética

La información al consumidor se debe facilitar en forma de una etiqueta que se otorga al edificio de manera provisional y después definitiva. Esta etiqueta

2. Marco normativo en eficiencia energética

está normalizada y es estéticamente similar a la que ya se aplica a los aparatos electrodomésticos, con un código de letras (A para edificios más eficientes, G para edificios menos eficientes) y colores (verde más eficiente, rojo menos). Hay que tener en cuenta, que no siempre el edificio más eficiente consumirá menos.

Por ejemplo, un edificio de clase A puede consumir más que uno de clase C pero que es mucho más pequeño puede prescindir de instalaciones potentes, etc, aunque su peor aislamiento le hace tener una calificación más baja. Esto nos permite decidir, según la clase de eficiencia, cuando comparemos edificios de características similares.

Otras informaciones que aparecen en la etiqueta son la localidad y zona climática en la que se encuentra el edificio (de acuerdo con la sección HE1 del CTE), el uso que tiene (residencial, comercial...) y el valor numérico del consumo de energía primaria estimado del edificio, expresado en kWh/año, las emisiones correspondientes de dióxido de carbono (kg CO₂/año), así como los mismos datos por m² de superficie.

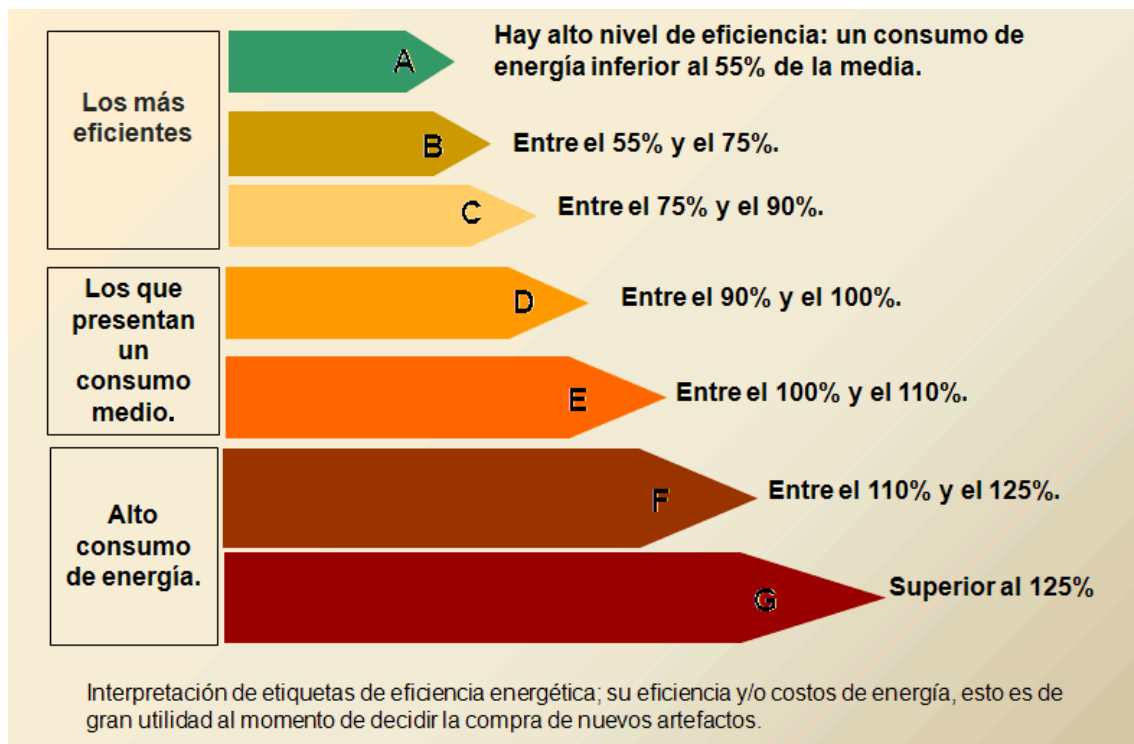


Figura 2.1. Etiqueta de eficiencia energética.

c) Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

El Consejo de Ministros del 20 de julio de 2007 aprueba un nuevo texto revisado del RITE que deroga el anterior. Se trata del Real Decreto 1027/2007 y posteriormente se publicó una corrección de errores.

El 11 de diciembre de 2009 fue publicado el Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio. (Corrección de errores del Real Decreto 1826/2009, publicado en: BOE número 38 de 12/2/2010 y corrección de errores del Real Decreto 1826/2009, publicado en: BOE número 127 de 25/5/2010).

La necesidad de transposición parcial de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de edificios así como la armonización con el "Documento Básico de Ahorro de Energía" del Código Técnico de la Edificación, la incorporación de nuevas exigencias de ahorro y eficiencia energética de este tipo de instalaciones y la experiencia de su aplicación práctica durante los últimos años, convergen en la revisión de este Reglamento.

El Real Decreto ha sido elaborado conjuntamente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Ministerio de Vivienda y las mayores exigencias en eficiencia energética que establece el RITE, se concretan en:

- Mayor Rendimiento Energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.

2. Marco normativo en eficiencia energética

- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas.
- Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

Con el fin de facilitar el cumplimiento de las exigencias del RITE se crean los denominados **documentos reconocidos**, que se definen como documentos técnicos sin carácter reglamentario, pero que cuentan con el reconocimiento conjunto del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Ministerio de Vivienda. De acuerdo con el artículo 7 del RITE se crea un Registro general de documentos reconocidos del RITE, adscrito a la Secretaría General de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Turismo .

El RITE, además impone la obligación de revisar y actualizar periódicamente, al menos cada 5 años, las exigencias de eficiencia energética. Es ésta una tarea que compete a la Comisión Asesora del RITE, encargada de realizar las propuestas conforme a la evolución de la técnica y la política energética nacional.

Este Real Decreto tiene el carácter de reglamentación básica del Estado. Para su aplicación se deberá desarrollar por las Comunidades Autónomas la reglamentación complementaria correspondiente. Esto quiere decir que las Comunidades Autónomas podrán introducir requisitos adicionales sobre las mismas materias cuando se trate de instalaciones radicadas en su territorio.

3. TERMODINÁMICA

El calor es la transferencia de energía térmica desde un sistema a otro de menor temperatura. La energía térmica puede ser generada por reacciones químicas (como en la combustión), reacciones nucleares (como en la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno que tienen lugar en el interior del Sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas) o por disipación mecánica (fricción). Su concepto está ligado al **Principio Cero de la Termodinámica** (establece que si un sistema A está en equilibrio térmico con un sistema B, y este sistema B está en equilibrio térmico con otro sistema C, entonces los sistemas A y C están en equilibrio térmico; en pocas palabras, la energía de dos cuerpos se intercambia hasta que su temperatura sea igual a la ambiental), según el cual dos cuerpos en contacto intercambian energía hasta que su temperatura se equilibre.

El calor significa "energía en tránsito" y dinámica se refiere al "movimiento", por lo que, en esencia, la termodinámica estudia la circulación de la energía y cómo la energía infunde movimiento. Históricamente, la termodinámica se desarrolló a partir de la necesidad de aumentar la eficiencia de las primeras máquinas de vapor.

La termodinámica es la rama de la física que estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas a un nivel microscópico. También podemos decir que la termodinámica nace para explicar los procesos de intercambio de masa y energía térmica entre sistemas térmicos diferentes.

En la termodinámica existe una magnitud llamada entropía (**2ª ley de la termodinámica**), dicha magnitud mide la parte de la energía que no puede

3. Termodinámica

utilizarse para producir un trabajo; es el grado de desorden que poseen las moléculas que integran un cuerpo, o también el grado de irreversibilidad alcanzada después de un proceso que implique transformación de energía. En esta rama de la física se estudian y clasifican las interacciones entre diversos sistemas (llamamos sistema a una porción determinada o indeterminada del espacio con unas condiciones de presión, temperatura,..) y su contorno.

En la termodinámica, se estudia partiendo de un sistema, que es una porción de espacio con unas condiciones determinadas. Un sistema termodinámico se caracteriza por sus propiedades (energía interna, presión, temperatura, volumen, entalpía, entropía,..), relacionadas entre sí mediante las ecuaciones de estado.

Un sistema puede estar aislado (consideramos que los lindes de este son de suficiente magnitud que no se producen intercambios de calor con el entorno), cerrado (que puede intercambiar energía con el exterior, pero no materia) o abierto (aquel que puede intercambiar materia y energía con el entorno), a su vez puede ser homogéneo o heterogéneo.

3.1. Mecanismos de transmisión de calor

El calor tiene diferentes mecanismos de transmisión sobre la envolvente del edificio. Siempre que existe una diferencia de temperatura entre dos puntos, se producirá un flujo de calor desde la región más caliente hacia la más fría hasta que las temperaturas se igualen.

En una fachada habrá oscilaciones térmicas debidas a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. La temperatura exterior depende de la climatología, y la temperatura de la superficie exterior del cerramiento vertical depende también del color, la textura o la orientación.

La temperatura interior en espacios habitables debe estar dentro de unos parámetros de confort, normalmente se supone una temperatura constante o con pequeñas oscilaciones.

La diferencia de temperaturas entre cuerpos da lugar a la transferencia de calor de las zonas con más alta temperatura hacia las de menor temperatura. Los procesos de transmisión de calor se clasifican en tres tipos en función del mecanismo a través del que la energía es transportada por el medio.

Los mecanismos básicos son tres aunque normalmente se presentan mezclados y se explicaran con detalle a continuación:

- CONDUCCIÓN
- CONVECCIÓN
- RADIACIÓN

3.1.1. Conducción

Se trata de una forma de transmisión de energía que se realiza de un cuerpo a otro estando en contacto, luego necesita de una masa para transportar el calor. La conducción trasmite energía cinética (por vibración de las moléculas, átomos, iones, electrones,..) por contacto, y requiere de un diferencial de temperatura para que este traspaso se produzca.

3. Termodinámica

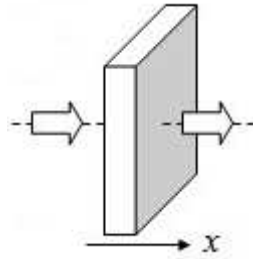


Figura 3.1. Conducción de calor.

La ley de Fourier es la ley que rige la conducción, esta relaciona el flujo de calor con el campo de temperaturas en los distintos puntos del medio, establece que el flujo es proporcional al gradiente de temperaturas y a la mayor facilidad para transmitir calor por el medio.

Conducción en gases

Los principios fundamentales de la **teoría cinética** proporcionan un fundamento fiable para determinar la conductividad térmica de los gases, son los siguientes:

- Los gases están compuestos de moléculas en movimiento aleatorio. Las moléculas sufren colisiones aleatorias entre ellas y las paredes del recipiente contenedor del gas.
- Las colisiones entre las moléculas del gas y las paredes del recipiente contenedor son elásticas.

Adicionalmente, si el gas está en el interior de un recipiente, las colisiones con sus paredes se asume que son instantáneas y perfectamente elásticas.

- Están en constante movimiento, chocando entre ellas y contra las paredes del recipiente que lo contiene.

Estos postulados describen el comportamiento de un gas ideal. Los gases reales se aproximan a este comportamiento ideal en condiciones de baja densidad y temperatura. Cabe destacar que a menor tamaño de las moléculas, mayor es la velocidad molecular media y el camino libre medio.

3. Termodinámica

Materiales aislantes

Tanto en la conducción en serie como en paralelo, cuando hay 2 superficies en contacto, se observa una variación leve de temperatura en el perfil térmico. Esto se debe a que las superficies nunca serán perfectamente lisas, sino que siempre tienen algo de rugosidad, luego no habrá una conducción de todo el calor, en estas rugosidades habrá aire encerrado. Hay que tener en cuenta que la conducción es tridimensional, esta intentará seguir avanzando por todas las superficies, y a su paso se encontrará huecos que interrumpirán la conducción, y provocarán convección y radiación en dichos huecos. A este fenómeno se le conoce como **resistencia por contacto**, y se expresa en términos de una **conductancia interfacial**.

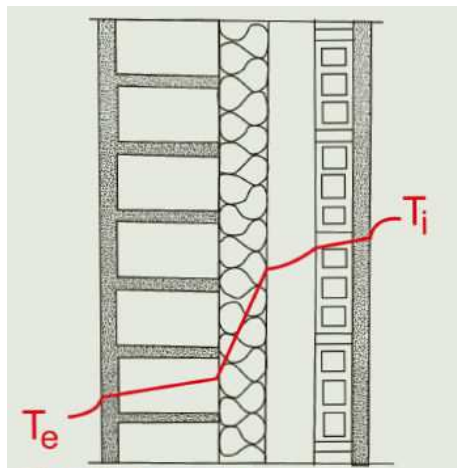


Figura 3.2. Resistencia del material aislante.

Esto supone un impedimento en la conducción, puesto que el paso de energía dentro de un sólido es más rápido y eficiente que el paso de un sólido a aire, y posteriormente a otra vez sólido. Luego se llega a la conclusión de que los materiales que posean más aire (huecos) distribuidos en su interior pondrán más dificultades y provocarán una mayor disipación del calor. Este es el fundamento de los **aislantes térmicos** (poliestireno expandido, poliuretano proyectado, mortero de perlita y mortero de vermiculita proyectado,...), todos ellos disminuyen el paso del calor por difusión en sus huecos interiores.

3. Termodinámica

3.1.2. Convección

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Éstos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, disminuyen su densidad y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

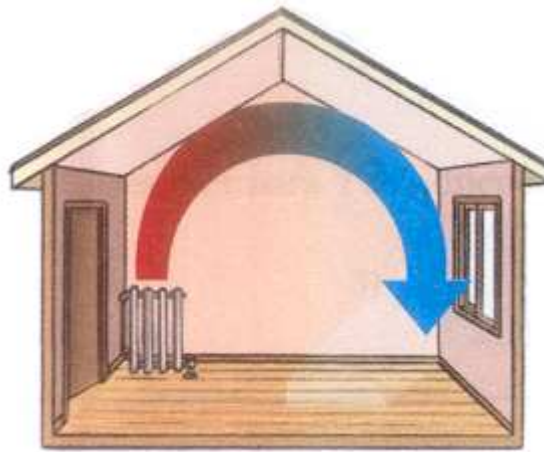


Figura 3.3. Convección.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (**convección mecánica o asistida**).

En la **transferencia de calor libre o natural** en la cual un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

La transferencia de calor por convección se expresa con la **Ley del Enfriamiento de Newton**.

3. Termodinámica

3.1.3. Radiación

La radiación térmica es un proceso de emisión de energía interna de un cuerpo por medio de ondas electromagnéticas. El origen de esta emisión de energía se halla en la agitación molecular y atómica de todo cuerpo cuya temperatura sea superior al cero absoluto.

Esta propagación de energía no necesita de materia para transmitirse, es capaz de hacerlo en el vacío. Estas ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz ($c = 300.000 \text{ Km/s}$) en el vacío. El comportamiento de este fenómeno se corresponde a 2 teorías simultáneamente, la **teoría ondulatoria** y la **teoría corpuscular**, en la que la radiación interactúa con la materia por medio de cuantos discretos de energía o fotones. Se propaga en todas las direcciones de onda y al intervalo completo de todas las ondas se le conoce como el **espectro electromagnético**.

El ojo humano solo detecta un espectro de radiación correspondiente al intervalo de longitudes de onda entre $3,8 \times 10^{-7} \text{ m}$ y $7,6 \times 10^{-7} \text{ m}$, al que se le conoce como **radiación visible**.

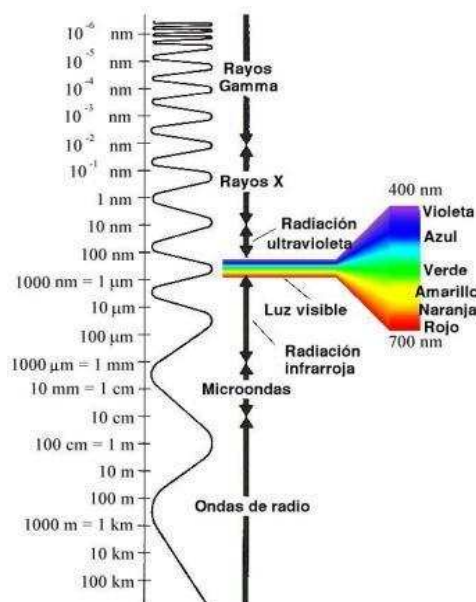


Figura 3.4. Radiación y longitudes de onda.

3. Termodinámica

Todos los cuerpos emiten y absorben energía radiante, aunque hay cuerpos que solo lo hacen en un espectro discreto de longitudes de onda, como es el caso de los metales puros y los gases. La magnitud de la radiación varía con la **longitud de onda** y con la **direccionalidad**, puesto que un cuerpo irradia en una distribución continua y no uniforme de componentes monocromáticas (un cuerpo puede emitir radiación relevante en ciertas direcciones) de forma que para cuantificar la transferencia de calor por radiación se debe tener en cuenta los **efectos espectrales y los direccionales**.

Antes de proseguir cabe destacar que el **equilibrio térmico** se consigue cuando la velocidad de absorción de energía es igual a la velocidad de emisión de energía de ese cuerpo. Este intercambio de energía puede afectar solo a una delgada capa del material, como ocurre en la mayor parte de los líquidos y sólidos, o ser un fenómeno volumétrico, como el caso de los gases y algunos sólidos, como los cristales.

En la radiación se ha adquirido un modelo de comportamiento de absorción ideal como referente, este es el **cuerpo negro**. Este es aquel que emite y absorbe la máxima cantidad de energía a una determinada temperatura. Este sirve de comparación para el resto de la materia. La radiación de los cuerpos negros se rige bajo la Ley de Plank. Esta demuestra que el poder emisivo o potencia emisiva monocromático de un cuerpo negro está relacionada con su temperatura y longitud de onda.

Las propiedades de la radiación son espectrales o monocromáticas y direccionales, pero si se ha de considerar en un balance de energía todas las superficies con las que cambia energía, se complica el problema. Se requiere de simplificar el problema, luego se optó por dar un solo valor a la propiedad radiante, este es el valor medio para todas las longitudes de onda y direcciones. Se les denomina **propiedades totales**.

Para explicar estas propiedades se considera un haz de energía que incide con una superficie. Una parte de esta energía se absorbe, otra se refleja y otra parte se transmite por la superficie.

3. Termodinámica

Al haz de energía se le conoce como **irradiancia total**, es la energía que incide sobre la superficie.

Absortividad es la fracción de energía que es absorbida por el cuerpo.

Reflectividad es la parte de la energía que es reflejada.

Y **transmitancia** es la energía transmitida por el cuerpo.

Existen algunos casos particulares que se han de conocer para comprender mejor algunos fenómenos:

- La **superficie opaca** no transmite energía.
- La **superficie radiante perfecta** refleja toda la energía.
- El **cuerpo negro** absorbe toda la energía.

Luego, toda superficie cuanto más opaca sea, menos energía transmitirá, y toda superficie cuanto más radiante sea, menos energía absorberá. En el caso opuesto, todo cuerpo, cuanto más negro sea, mas energía absorberá.

La **emisividad** es la relación entre la energía total emitida por un cuerpo a una temperatura dada y la energía que ese cuerpo emitiría si fuese un cuerpo negro a la misma temperatura.

Deducimos que la transferencia de calor por radiación, no solo depende de la diferencia de temperatura, sino que tambien depende de la emisividad, la superficie emisora y del factor de forma (que depende de la geometría y la orientación de las superficies, así como del comportamiento de los cuerpos a la radiación).

Radiación solar

La Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Se considera que se comporta como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Toda la radiación que el sol emite no alcanza la superficie de la Tierra, porque las

3. Termodinámica

ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono.

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a las 0,29 micras por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Ello nos libra de la ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a los 24 micras, ello no afecta a la radiación solar pero, sumado al aporte de CO₂ a la atmósfera aumenta su rango espectral, sí a la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se lo conoce como efecto invernadero. *[García Teruel, 2010]*

3.2. Terminología

Sistema termodinámico. Denominaremos así, a la región del espacio sometida a estudio, separada del medio que le rodea (entorno) por una superficie que lo limita (límites del sistema).

Temperatura. Es una magnitud escalar variable en cada punto del espacio y en cada instante considerado. El conjunto de puntos con las mismas características de temperatura en tiempo y/o espacio se llaman isoterms. Para medir esta magnitud se emplea el grado Kelvin en el sistema internacional (siendo 0° K la temperatura correspondiente al "cero absoluto"), pero es habitual el uso de otra escala para su medida, siendo la misma unidad, como el grado Celsius (habitualmente conocido como centígrado) correspondiéndose el 0 °C, con la temperatura de cambio de estado del agua de líquido a sólido; o los grados Fahrenheit de estados unidos.

Potencia térmica o transmisión de calor. Es la cantidad de energía calorífica que atraviesa una superficie en una unidad de tiempo. Su unidad en el sistema internacional es el watt, pero es usual encontrarse con otras unidades de medida:

$$1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ Julios}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ Julios}$$

$$1 \text{ Kcal/h} = 1,162 \text{ W}$$

$$1 \text{ Btu/h} = 0,252 \text{ Kcal/h}$$

Resistencia térmica. Es la oposición que hace un cuerpo al paso de energía. Esta se considera análoga a la resistencia eléctrica, siendo el flujo la intensidad eléctrica y la diferencia de potencial el gradiente de temperatura. Quedando de la siguiente forma:

Conductancia térmica. La inversa de la resistencia térmica.

Difusividad térmica. Es el cociente entre la constante de proporcionalidad k con la densidad y la **capacidad calorífica**.

3. Termodinámica

Capacidad calorífica. Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En una forma menos formal es la energía necesaria para aumentar 1 K su temperatura, (usando el SI). Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Puede interpretarse como una medida de inercia térmica. Es una propiedad extensiva, ya que su magnitud depende, no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo o sistema; por ello, es característica de un cuerpo o sistema particular. Por ejemplo, la capacidad calorífica del agua de una piscina olímpica será mayor que la de un vaso de agua. En general, la capacidad calorífica depende además de la temperatura y de la presión.

La capacidad calorífica no debe ser confundida con la **capacidad calorífica específica o calor específico**, el cual es la propiedad intensiva que se refiere a la capacidad de un cuerpo «para almacenar calor», y es el cociente entre la capacidad calorífica y la masa del objeto. El calor específico es una propiedad característica de las sustancias y depende de las mismas variables que la capacidad calorífica.

Cabe destacar que la termodinámica clásica no predice la velocidad a la que se produce la transmisión de energía calorífica, la “transferencia de calor” se encarga de ello.

La transmisión de calor se puede dar por 3 formas distintas, por conducción, por convección y por radiación.

Gradiente térmico. Aumento o disminución gradual de la temperatura a lo largo de un espacio, geográfico o del tiempo.

Infiltración de aire. Flujo de aire que penetra en una habitación a través de rendijas u otras aberturas en la carpintería o huecos bajo la puerta, etc.

Emisividad. Relación entre la energía total emitida por un cuerpo a una temperatura dada y la energía que ese cuerpo emitiría si fuese un cuerpo negro a la misma temperatura.

4. FACTORES QUE AFECTAN AL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, reducir el consumo en los edificios siempre ha de ser un objetivo que nos hemos de plantear sin llegar a perder el confort. Antes de estudiar la aplicación de energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica, biomasa...), hemos de pensar en la aplicación de medidas destinadas a la reducción del consumo energético (soluciones arquitectónicas, tecnologías eficientes de energía, minimización de residuos...) A continuación, presentamos las medidas esenciales para mejora de la eficiencia energética que se pueden aplicar.

4.1. Orientación y protección solar del edificio

No siempre es posible escoger la orientación del edificio; habitualmente se deberá seguir la trama de calles. Aun así, la situación del edificio en el solar será un factor decisivo para el gasto energético. La influencia de orientación se debe a los hechos siguientes:

- La radiación solar sobre una fachada norte es casi nula, por esto esta fachada será la más fría. Por este hecho, si situamos una entrada de luz hacia el norte, siempre tendremos radiación difusa útil para la iluminación, pero se deberá instalar un buen aislante térmico en esta abertura.
- La radiación solar sobre el este la tendremos a las primeras horas de la mañana. En verano se deberán proteger las aberturas con algún

4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental

dispositivo que evite la entrada directa de esta radiación (por ejemplo, láminas orientables).

– La radiación solar sobre el oeste la tendremos por la tarde. En verano se deberán proteger las aberturas con algún dispositivo que evite la entrada directa de esta radiación (por ejemplo láminas orientables) ya que provoca sobrecalentamientos considerables por la tarde. Las protecciones tendrán que ser orientables a fin de que permitan el paso de la radiación indirecta y favorecer así la iluminación natural.

– La incidencia de la radiación solar sobre una fachada sur se producirá durante casi todo el día. En invierno esta aportación de calor nos ayudará a reducir el gasto de calefacción. En verano como la altura del sol es superior, con la colocación de pequeños elementos que hagan sombra evitaremos la radiación directa y el calor.

4.2. Aislamientos térmicos e inercia térmica

Los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta para mejorar el comportamiento de la piel del edificio son la inercia térmica (es decir, la capacidad de acumulación del calor) y la resistencia térmica o aislamiento.

Las ventajas que se obtienen de la mejora de los aislamientos son muy considerables: Un incremento de 1 cm. de aislamiento puede comportar una disminución del 15% del gasto de calefacción. Uno de los aspectos más importantes de los aislamientos es la eliminación de los puentes térmicos, es decir, el aislamiento de los finales de los forjados, los marcos de las ventanas y todos los elementos constructivos que comunican directamente la superficie interior con la exterior sin ningún aislamiento en medio.

A efectos de aplicación del CTE, se definen las zonas climáticas, descritas en el apartado de marco normativo.

4.3. Distribución de las estancias

Tendremos que intentar distribuir de la forma más adecuada las diferentes estancias que conforman un edificio. Por esto se deberán tener en cuenta los conceptos de insolación que se han apuntado y la actividad que se llevará a cabo en las diferentes salas.

Se recomienda que las salas con un uso continuo sean las que necesiten unas condiciones más confortables. Por esto, los espacios principales, de uso continuo, se situarán prioritariamente en la fachada sur.

Y las salas con una utilización intermitente no requieran unas condiciones tan confortables. Por eso, los espacios de paso o de menor utilización (salas de máquinas, almacén, lavabos, pasillos, etc.) se dispondrán en la fachada norte.

4.4. Iluminación natural

El objetivo ha de ser aprovechar al máximo la luz solar para reducir el consumo eléctrico en la iluminación. Por esto, se deberían instalar elementos de captación de luz natural, como pueden ser: ventanas, patios interiores, claraboyas, entradas de luz en forma de dientes de sierra o tubos de captación de luz solar. El problema es que la creación de estos elementos entra en conflicto con el aislamiento térmico del edificio.

4.5. Iluminación artificial

Diseñar una instalación de iluminación que satisfaga las necesidades lumínicas del día más desfavorable del año es la primera fase de este proceso. Una vez conocidas las necesidades en las condiciones más desfavorables, se tendrá en cuenta que estas necesidades no lo serán durante todos los días del año. De ahí la importancia de disponer de un sistema de control que permita adaptarse al mayor número de usos posibles (o necesidades diferentes). Con ello se intentará ajustar la potencia lumínica a la necesidad lumínica.

4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental

Algunos de los mecanismos para conseguirlo son:

- La sectorización de la sala a iluminar, separando las líneas del alumbrado. Así disponemos de la opción de encendido parcial de los puntos de luz que nos permite una iluminación diferenciada en diversas zonas de un mismo espacio en función de las necesidades (por ejemplo, tener apagadas las luces más cercanas a las ventanas y tener encendidas las del resto de la sala).
- La instalación de reactancias electrónicas con reguladores de flujo que ajusten en cada momento la potencia de las lámparas para obtener exactamente el grado de iluminación deseado.
- La instalación de equipos de encendido y alumbrado automático (células fotoeléctricas o relojes astronómicos) para la iluminación exterior.
- La instalación de interruptores temporizados o detectores de presencia en zonas con un uso puntual (por ejemplo, los lavabos).

4.6. Gestión de residuos

Esta propuesta, más que una condición de la edificación, es una condición relacionada con el tipo de residuo generado. Consideramos dos supuestos:

1. Las actividades municipales que generen residuos especiales tendrán que disponer de un espacio reservado para almacenarlos. La recogida la deberá hacer una empresa autorizada por la Junta de Residuos, la cual deberá disponer de todas las autorizaciones pertinentes.

El almacén será de uso exclusivo para residuos, con una superficie que dependerá de la producción que haya. El almacén estará situado preferentemente cerca de la zona de carga y descarga – si no hay, se situará cerca de un acceso- estará bien ventilado y dispondrá de una cubeta de seguridad para recoger residuos líquidos en caso de vertido accidental.

Si el almacenamiento se hace en un patio de la actividad o zona no cerrada, entonces dispondrá de cubeta de seguridad para recoger residuos líquidos en caso de vertido accidental. La zona destinada a

4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental

almacén se cubrirá y pavimentará, y si tiene desagüe, este no estará conectado a la red municipal de saneamiento.

Los recipientes para los residuos estarán claramente identificados.

2. Para realizar las actividades municipales con residuos municipales o asimilables se deberá disponer de un espacio cerrado destinado al almacenaje selectivo de los residuos. Este espacio se deberá mantener en condiciones de higiene y limpieza adecuadas para que no produzcan molestias por los malos olores. La acumulación de basuras se ha de hacer en contenedores o cubos cerrados y estancos.

Estas medidas no representan ningún incremento del coste de la instalación y en cambio facilitan la recogida selectiva, que es una manera indirecta de ahorrar energía.

4.7. Condiciones de confort

Lo primero a tener en cuenta es que un edificio diseñado con criterios de reducción de consumo energético y que siga los consejos básicos mencionados en los otros apartados casi no necesitará equipo de soporte para mantener el interior en condiciones de confort.

En el caso, no obstante, que se deba climatizar, los valores de confort obligatorios son los que se muestran a continuación [*Rite, 2009*]:

Invierno: Temperatura: 20 - 23° C

Humedad relativa: 40 - 60%

Verano: Temperatura: 23 - 25° C

Humedad: 40 - 60%

Estos valores son los que se han de utilizar para dimensionar los equipos de climatización de los edificios.

4.8. Reducción del consumo de agua

El agua es un recurso escaso y limitado, y el proceso de depuración para hacerla apta para el consumo comporta unos gastos energéticos y ambientales. Por eso es importante reducir el consumo y aprovechar las aguas grises (no aptas para el consumo humano) para sustituir el agua depurada en aquellos casos en que sea posible (agua de cisterna de lavabos y agua de riego). En el caso de reutilizar el agua, hemos de llevar a cabo un estudio en profundidad y sobre la depuración de las aguas grises (biológica y/o fisicoquímica) para evitar la transmisión del virus de la legionella y cumplir así la normativa vigente antilegionela.

Algunas recomendaciones para reducir el consumo de agua sanitaria son:

- Instalar grifos temporizados y difusores del tipo aireadores en las duchas y grifos. Con la temporización conseguiremos que no quede ningún grifo abierto y reduciremos el tiempo de funcionamiento. Con los aireadores reduciremos la cantidad de agua que sale por punto de consumo. Con ello se puede conseguir una reducción de hasta el 50% del consumo y con una inversión muy pequeña, la amortización de estos aparatos es inferior a seis meses.
- Instalar cisternas de doble descarga. Se obtiene una reducción de hasta el 50% del consumo con una inversión muy pequeña.
- Sustituir las cisternas del WC por fluxores.
- Disponer de sensores de presencia para accionar el agua de los lavabos.
- Instalar sistemas de reaprovechamiento que permitan aprovechar las aguas grises para abastecer de agua las cisternas de los lavabos. En este caso se deberá disponer de una gestión centralizada desde el ayuntamiento para evitar confusiones de cañerías con futuras ampliaciones del edificio.
- Instalar contadores de agua para zonas de uso que permitan identificar las áreas de más consumo e implantar medidas correctoras.
- Utilizar algún sistema de detección de fugas de agua en las cañerías enterradas u ocultas.

4.8.1 Reducción de los consumos energéticos producidos por el agua caliente sanitaria.

Hay que tener en cuenta que el ACS presenta un consumo de agua y de energía consumida para calentarla. Actualmente la viabilidad de los equipos de energía solar térmica como sustitutivos del combustible fósil está más que demostrada.

Algunas recomendaciones para reducir el consumo energético en calentamiento de agua son:

- Mejorar los aislantes de las cañerías. Así reduciremos el gasto de calor perdido en el ambiente. Los aislantes de las cañerías han de cumplir siempre la normativa vigente del RITE. La conductividad máxima que han de tener los aislantes es de $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. En el caso de cañerías que transporten fluidos calientes, existen espesores mínimos de aislantes que se deben cumplir.
- Minimizar la distancia entre la producción del ACS y el consumo para reducir el recorrido de las cañerías y así disminuir las pérdidas de calor.
- Es recomendable no usar la electricidad para la producción de calor con resistencias eléctricas ya que el sistema de producción actual es muy poco eficiente.

4.9. Ruidos

Al diseñar un edificio se tendrán en cuenta los aspectos acústicos, tanto en el aspecto de confort interior como en las repercusiones exteriores que generen sus actividades e instalaciones. Y tanto en el proyecto como en la ejecución.

La normativa que se ha de aplicar es la siguiente:

- Norma Básica de la Edificación en Edificios. Condiciones Acústicas (NBE – CA – 88)
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)
- Ordenanzas municipales propias relativas a este aspecto.

4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental

En el proyecto del edificio se justificará el cumplimiento de la normativa vigente para la regulación de ruidos y vibraciones. Se presentará un proyecto acústico que, como mínimo, contendrá:

- La definición del tipo de actividad(es)
- El horario de funcionamiento
- El Nivel sonoro en el local emisor, en dB(A)
- El nivel sonoro de la maquinaria instalada, en dB(A)
- El nivel sonoro previsto en las viviendas más afectadas, en dB(A)
- El aislamiento acústico necesario para cumplir los niveles especificados para la ordenanza
- La especificación de los gruesos de los materiales y peso por m².
- Los planos en planta y sección de la posición relativa de las viviendas, respecto a la actividad y situación de las plantas subterráneas, si hay.
- Los planos a escala 1:50 de los elementos que configuran el aislamiento acústico y detalles, a escala 1:10, de los materiales, gruesos, uniones, acoplamientos elásticos, paredes dobles, doble techo y tierras flotantes.
- El acondicionamiento acústico de las salas donde sea necesario una óptima inteligibilidad de la voz o de la percepción de la música. Hay que presentar estudios y revestimientos de superficies que tiene por objeto controlar la reverberación de locales o espacios públicos.
- Las medidas correctoras para corregir los ruidos y vibraciones.

Se exigirá el aislamiento acústico mínimo en determinadas actividades consideradas ruidosas. Los aislamientos mínimos serán los que manda la ordenanza municipal para la regulación de ruidos y vibraciones y estarán determinados por los niveles sonoros máximos de emisión.

Las nuevas edificaciones municipales que por sus características puedan generar molestias por ruidos no se podrán construir en contiguidad con la vivienda. El edificio mantendrá una separación mínima respecto a la vivienda de 3 a 5 cm. Entre fundamentos previa colocación de placas de poliestireno o material similar y de 3 a 15 cm. Entre paredes, previa colocación de plafones de fibra de vidrio de un grueso mínimo de 3 cm.

4. Factores que afectan al comportamiento energético y medioambiental

Se deberá redactar un pliego de condiciones exhaustivo donde se especifiquen claramente: los tipos de materiales y de maquinaria a instalar, los controles de calidad, pruebas, medidas, etc.

4.10. Materiales y colores

Actualmente hay muchos materiales que se utilizan en la construcción de edificios. Para valorar el impacto ambiental se aplican diferentes criterios.

- Evaluar la energía necesaria en la producción de este material
- Realizar un análisis del ciclo de vida del material, desde la extracción de la materia prima hasta que se recupera del derribo. Evaluar el impacto ambiental que se genera.
- Tener en cuenta la posibilidad de reciclar el material una vez ha dejado de realizar su función.
- Tener en cuenta la posibilidad de utilizar materiales de construcción que incorporen materiales reciclados (acero de construcción que contenga acero reciclado, aluminio de construcción con residuos reciclados...). También se favorecerá el uso de materiales reutilizados y de materiales del lugar para minimizar el consumo energético del transporte.
- Evaluar las emisiones de gases tóxicos que desprende el material en caso de incendio, al largo de su vida útil y en su colocación. *[Martín, 2002]*

5. EDIFICIO ANALIZADO: MUSEO DE HISTORIA DE VALENCIA

El edificio a analizar es el Museo de Historia de Valencia, que se encuentra en Mislata calle Valencia, 42, y fue creado por acuerdo de la Comisión de Gobierno del Ayuntamiento de Valencia, de 12 de enero de 2001, con el mandato de difundir la historia de la ciudad desde los orígenes a la actualidad, haciendo uso para ello de los fondos arqueológicos, artísticos y culturales municipales.



Figura 5.1. Entrada principal MHV.

5. Edificio analizado: 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 edificio, todo de ladrillos y grandes bóvedas, es el modelo de una época que hizo de la ingeniería el instrumento del cambio para dar el salto hacia el progreso.



Figura 5.2. Bóvedas de ladrillo en el interior del museo.

Fue construido en 1850 por Ildefonso Cerdá y Leodegario Marchessaux, a partir de un proyecto diseñado por Calixto Santa Cruz. Un bello ejemplo de la arquitectura industrial valenciana, considerado como la primera obra de ingeniería pública de la Valencia decimonónica. El sistema captaba el agua de una presa sobre el río Turia a la altura de Manises y la hacía llegar, tras pasar por filtros y balsas de decantación, hasta una canalización subterránea que la conducía al corazón del sistema, el depósito construido junto a la cruz del término de Mislata, desde donde era distribuida por la capital. El depósito está 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. [Boira, 2007]

5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia

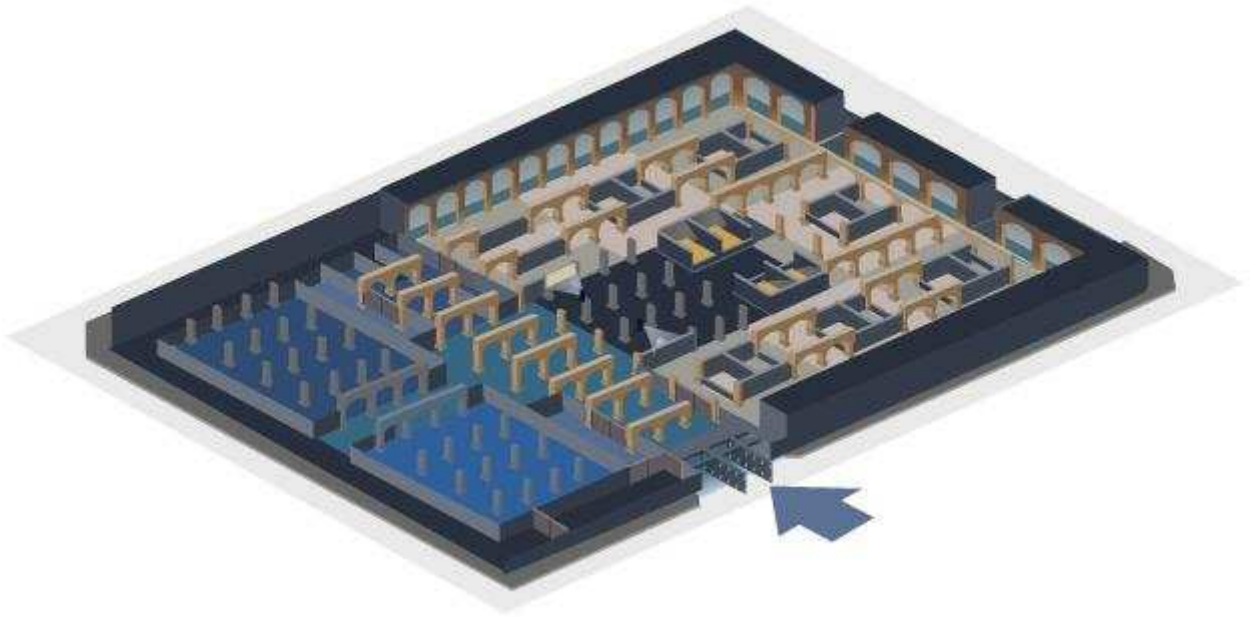


Figura 5.3. Representación en 3D de la sala del museo.

Este espacio estuvo en desuso desde mediados del siglo XX. Entre 1998 y 2001, las obras de restauración, realizadas por la Corporación, permitieron recuperar el recinto de gran belleza, que alberga desde entonces las dependencias del museo.

El Museo de Historia de Valencia se plantea ahora como objetivo acercar la historia de Valencia a los visitantes, ahondando en el conocimiento del pasado y tradiciones, dividida en ocho períodos o bloques:

- Valentia (138 a.c.- 711)
- Balansiya (711-1238)
- Valencia en la Edad Media (1238-1519)
- De las Germanías a la Nueva Planta (1519-1707)
- Municipio Borbónico (1707-1833)
- La Ciudad de Vapor (1833-1917)
- La Modernidad truncada (1917-1975) y
- La Valencia vivida (1975-2003)

5.1. Emplazamiento y orientación

La figura 5.4 muestra el emplazamiento del edificio del Museo de Historia de Valencia, marcado el contorno del mismo en rojo.



Figura 5.4. Mapa de emplazamiento del Museo de Historia de Valencia.

Las fachadas del museo son algo peculiares, por haber cambiado su uso de un depósito de aguas a un museo. La **fachada norte es la fachada principal** del edificio, donde está situada la puerta de entrada principal del museo y se accede desde la calle Valencia. Aproximadamente el 50% de la misma hace medianera con un edificio contiguo.

La **fachada oeste es prácticamente medianera**, a excepción de las dos esquinas, como se aprecia en la figura anterior, la esquina norte, desemboca a un callejón que es prolongación del Camino viejo de Xirivella, ahí esta situada la puerta de entrada a oficinas. Y la esquina sur da una pequeña plaza situada en la calle de Archena.

5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia

La fachada sur linda con un parque de la calle de Yatoba.

Y por ultimo **la fachada norte da a un callejón** que enlaza la calle Valencia con el parque de Yatoba.

Gran parte de estas peculiaridades se explican porque la cubierta del museo es transitable y pública, está ocupada por un campo de fútbol sala con suelo de cemento, y un parque de ocio con zona verde y una fuente ovalada en el centro.

Además, el edificio está construido a una cota unos inferior a la rasante natural del terreno, es decir, sus fachadas están semienterradas, pero eso no quiere decir que todas estén, en toda su longitud, en contacto con el terreno. La fachada sur tiene un patio de unos 2m de ancho aproximadamente donde se sitúan escaleras que bajan a puertas de acceso secundarias del museo, como se puede ver en la figura 5.5.

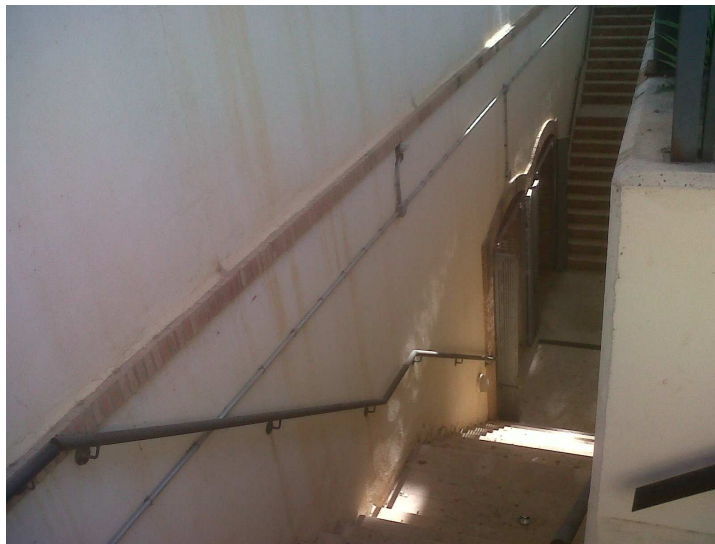


Figura 5.5. Puertas de acceso de la fachada sur.

Este patio, lo delimita por una parte el muro exterior del museo y por la otra un muro de 30cm de espesor en contacto con el terreno que tiene en su parte superior un vallado de seguridad para evitar el paso.

5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia

En la figura 5.6 se ve parte de la fachada este, donde también existe un patio de las mismas características que el de la fachada sur pero de mayores dimensiones como se puede apreciar. En el patio están colocadas las casetas y cajas de instalaciones.



Figura 5.6. Patio exterior y puertas de acceso de la fachada este.

5.2. Memoria constructiva

El museo está dotado de todos los equipamientos y servicios urbanos básicos como son:

- Abastecimiento de agua potable.
- Evacuación de aguas residuales a la red municipal de saneamiento.
- Suministro de energía eléctrica
- Suministro de telefonía.
- Acceso rodado por vía pública.

La cimentación está realizada a base de una losa de unos 60 cm de altura, realizada casi exclusivamente de mampostería tomada con mortero de cal, que se dispone bajo los pilares y los muros.

El sistema estructural está constituido por pilares mixtos de ladrillo con barro o mampostería que dan lugar a arcos de medio punto de ladrillo que a la vez forman bóvedas de ladrillo también, para sostener la cubierta.

La cubierta es plana e invertida. Reformada en 1998 y resuelta con una losa armada. La impermeabilización viene dada por una lámina por encima de las bóvedas y el aislamiento, entre capas de hormigón.



Figura 5.7. Cubierta del museo en construcción.

5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia

Los cerramientos exteriores también fueron reformados, eran muros de carga de unos 95 cm de mampostería y mortero de cal o barro (ver figura 5.8). En 1998 se le añadió una tabaquería exterior a este construida con ladrillos huecos cerámicos de 24x11.5x11 y una cámara de aire que la separaba del muro 18cm aproximadamente (ver figura 5.9).



Figura 5.8. Cerramiento exterior del museo.

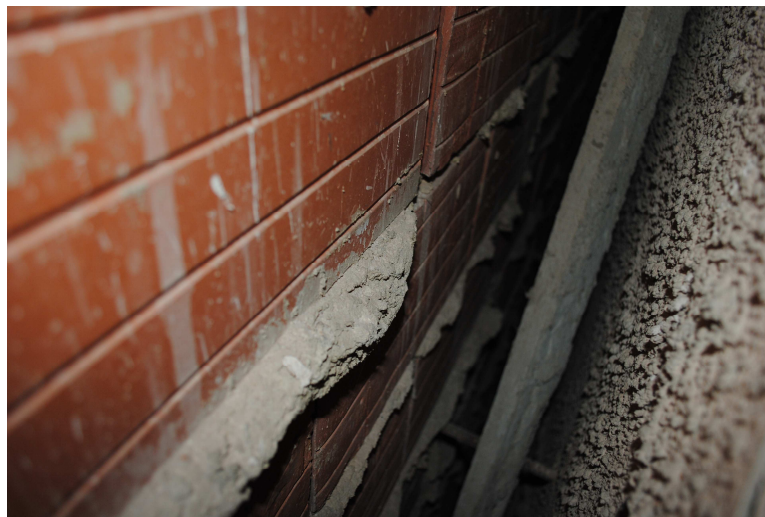


Figura 5.9. Cámara de aire del muro exterior.

5. Edificio analizado: Museo de Historia de Valencia

La base del pavimento que esta en contacto con la cimentación, está formada por una solera realizada con mortero de cemento de 4 cm de espesor sobre una capa arena de unos 6 cm. Encima de esto, pavimento de terrazo. Y encima del terrazo se eleva a 37 cm una infraestructura metálica prefabricada para apoyar placas de parqué de madera de 3 cm de espesor.



Figura 5.10. Cata del suelo de la sala del museo.

La figura 5.10 muestra una cata que se realizó gracias a la colaboración del Museo de Historia de Valencia y del Ayuntamiento de Valencia, a petición del equipo de investigación, para determinar los espesores de mortero y arena.

Y por ultimo, respecto a **revestimientos y pintura**. Los paramentos verticales de fábrica de ladrillo se revisten exteriormente, con un mortero monocapa y están pintadas con una pintura de textura lisa de color amarillento.

6. DATOS EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

6. 1. Recogida de datos experimentales

Para poder comparar y contrastar resultados y así poder caracterizar térmicamente los muros se ha hecho una recogida de datos de temperatura y humedad relativa todas las semanas desde Diciembre de 2011.

Por una parte se han archivado datos de la meteorología externa al museo desde la pagina web **www.meteovalencia.es**. La información recogida nos indica valores de temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento, punto de rocío, gradientes térmicos, etc...Con una toma cada 10 minutos durante 6 meses a partir de Diciembre de 2011.

Esta información es pública y se puede encontrar en la web sin necesidad de ninguna autorización especial, pero sus registros son cortos por motivos de espacio virtual y solo acumulan los valores de una semana, por lo que se ha ido guardando semanalmente.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad



Figura 6.1. Captura de imagen de la web de meteovalencia

Y por otra parte se han recogido datos interiores del edificio a través de sondas, capaces de tomar la temperatura y humedad interior del mismo. Con la ayuda y colaboración del director y el personal empleado en el Museo, se ha visitado éste frecuentemente y accedido a zonas restringidas al público, donde se han podido extraer los datos necesarios para la realización de este trabajo de investigación.

Además, como salían unos 288 valores diarios entre temperaturas y humedades. Para facilitar el control del museo, se ha creado una aplicación Excel, con la que mediante tablas y graficas se indica el valor máximo, mínimo y medio de temperatura/humedad diario. De esta forma, se puede identificar de manera rápida y sencilla algún fallo en las maquinas de calefacción/refrigeración si lo hubiese. Esta información ha sido filtrada semanalmente al responsable del control a través de informes formato Excel.

Para la extracción de datos, hemos utilizado dos tipos de sondas:

- **Sondas Symaro de Siemens.** Estas sondas recogen la temperatura ambiente y la humedad relativa del mismo, tienen en consideración la compensación por la temperatura de la pared. Hay 12 sondas fijas bien distribuidas por las paredes de los pasillos del museo, fuera de las vitrinas con los elementos históricos expuestos (ver figura 6.4).

6. Datos experimentales de temperatura y humedad



Figura 6.2. Sonda Siemens.

- **Data logger 175 -H2 de Testo.** Sondas más pequeñas y portátiles. Pero con la misma función que las fijas Siemens, recoger la temperatura y la humedad del ambiente. Con la distinción que estas están repartidas por el interior de las vitrinas que contienen piezas de importante valor histórico y que necesitan estar controladas con una humedad y temperatura determinada.

Existen 5 loggers y están distribuidos de la siguiente manera: el 1º en la vitrina Norte cerca del Sarcófago, el 2º en la vitrina Norte al lado del Escudo, el 3º en la zona central, bajo el Repostero, el 4º en la mesa de la vitrina Sur y por ultimo el 5º en la vitrina Sur Republica (ver figura 6.4).



Figura 6.3. Sonda Testo.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

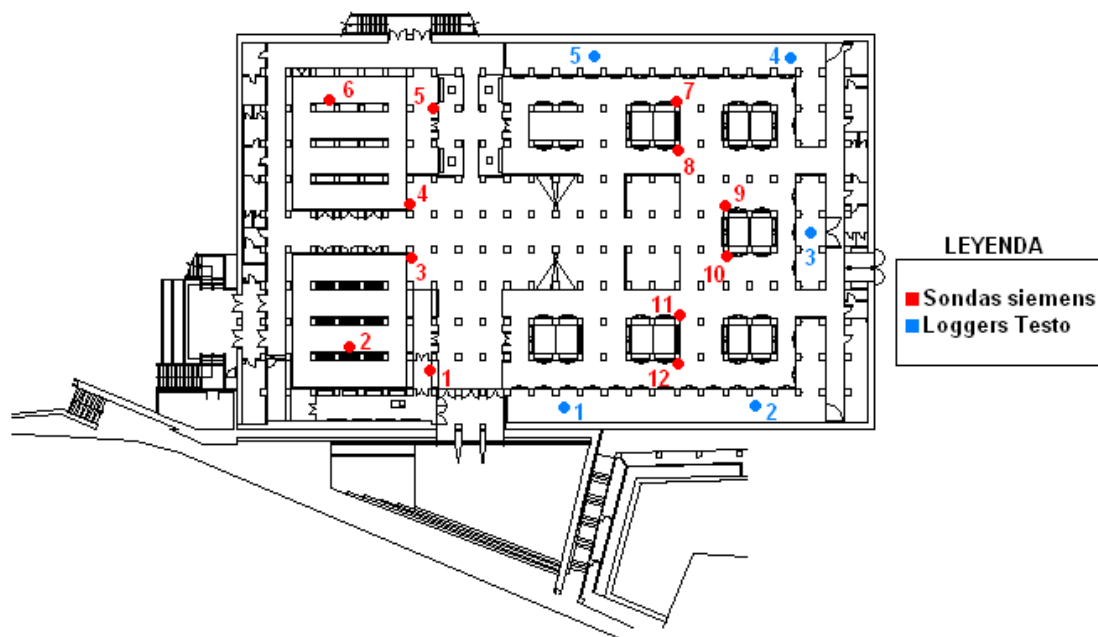


Figura 6.4. Localización de las sondas.

Configuración y extracción de las sondas

Inicialmente todas las sondas del museo estaban configuradas de manera que solo hacían 2 tomas diarias, incluso habían aparatos inactivos. Para realizar nuestros objetivos, se reconfiguran todas las sondas.

Las sondas Symaro de Siemens se disponen para hacer una toma de datos cada 10 minutos y enviarla de manera automática a una base de datos informatizada y monitorizable que los almacenará a través de un programa que fue diseñado especialmente para el museo.

Los loggers portátiles de Testo, también están configurados para hacer una toma cada 10 minutos, pero este tipo de sonda tiene una memoria interna que almacena solo una reducida cantidad de datos y se extraen de manera manual. De forma que se han tenido que recoger todas las semanas, desplazando la sonda fuera de su vitrina correspondiente y extrayendo la información a través de un cable especial para poder informatizarlos.

Cabe destacar que el sistema de ventilación y climatización del museo es el mismo para toda la sala, es decir todos los aparatos están conectados a una

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

misma centralita y la temperatura y humedad que consiguen mantener en el ambiente esta sincronizada en todos ellos.

Muestra de datos

La información recogida durante estos 6 meses es muy extensa para adjuntarla al análisis, puesto que hay una toma de temperatura y humedad cada 10 minutos en cada una de las 17 sondas con un total aproximado de 26.000 tomas por sonda y 442.000 entre todas.

Por ello, se muestra como ejemplo únicamente los datos de 3 días significativos de una de las sondas interiores. Y otro de los datos exteriores.

Tabla 6.1. Datos del día 20 de Diciembre/Febrero/Mayo extraído de la sonda Symaro N° 2 de Siemens distribuidas por la sala.

20 Diciembre 2011	Temp.	Humed.	20 Febrero 2012	Temp.	Humed.	20 Mayo 2012	Temp.	Humed.
20/12/2011 0:00	21.4	44.7	20/02/2012 0:00	20.8	44.8	20/05/2012 0:00	21.0	65.1
20/12/2011 0:10	21.4	44.6	20/02/2012 0:10	20.8	44.3	20/05/2012 0:10	21.0	65.0
20/12/2011 0:20	21.5	44.6	20/02/2012 0:20	20.8	44.3	20/05/2012 0:20	21.0	65.0
20/12/2011 0:30	21.5	44.4	20/02/2012 0:30	20.8	44.2	20/05/2012 0:30	21.0	64.9
20/12/2011 0:40	21.5	44.5	20/02/2012 0:40	20.8	44.1	20/05/2012 0:40	21.0	65.0
20/12/2011 0:50	21.5	44.5	20/02/2012 0:50	20.8	44.1	20/05/2012 0:50	21.1	64.9
20/12/2011 1:00	21.5	44.5	20/02/2012 1:00	20.8	44.2	20/05/2012 1:00	21.0	64.9
20/12/2011 1:10	21.5	44.5	20/02/2012 1:10	20.8	44.1	20/05/2012 1:10	21.1	64.7
20/12/2011 1:20	21.5	44.6	20/02/2012 1:20	20.8	44.2	20/05/2012 1:20	21.1	64.7
20/12/2011 1:30	21.5	44.5	20/02/2012 1:30	20.8	44.2	20/05/2012 1:30	21.1	64.7
20/12/2011 1:40	21.5	44.6	20/02/2012 1:40	20.8	44.1	20/05/2012 1:40	21.1	64.6
20/12/2011 1:50	21.5	44.4	20/02/2012 1:50	20.8	44.1	20/05/2012 1:50	21.1	64.5
20/12/2011 2:00	21.5	44.5	20/02/2012 2:00	20.8	44.1	20/05/2012 2:00	21.1	64.4
20/12/2011 2:10	21.5	44.4	20/02/2012 2:10	20.8	44.1	20/05/2012 2:10	21.1	64.4
20/12/2011 2:20	21.5	44.3	20/02/2012 2:20	20.8	44.1	20/05/2012 2:20	21.1	64.3
20/12/2011 2:30	21.5	44.4	20/02/2012 2:30	20.8	44.1	20/05/2012 2:30	21.1	64.3
20/12/2011 2:40	21.5	44.5	20/02/2012 2:40	20.8	44.0	20/05/2012 2:40	21.1	64.1
20/12/2011 2:50	21.5	44.2	20/02/2012 2:50	20.8	44.0	20/05/2012 2:50	21.1	64.1
20/12/2011 3:00	21.5	44.1	20/02/2012 3:00	20.8	44.0	20/05/2012 3:00	21.1	64.0
20/12/2011 3:10	21.5	44.3	20/02/2012 3:10	20.8	44.0	20/05/2012 3:10	21.1	64.0

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

20 Diciembre 2011	Temp.	Humed.	20 Febrero 2012	Temp.	Humed.	20 Mayo 2012	Temp.	Humed.
20/12/2011 3:20	21.5	44.2	20/02/2012 3:20	20.8	44.0	20/05/2012 3:20	21.1	63.9
20/12/2011 3:30	21.5	44.1	20/02/2012 3:30	20.8	43.9	20/05/2012 3:30	21.1	63.8
20/12/2011 3:40	21.5	44.4	20/02/2012 3:40	20.7	43.9	20/05/2012 3:40	21.1	63.8
20/12/2011 3:50	21.5	44.4	20/02/2012 3:50	20.7	43.9	20/05/2012 3:50	21.1	63.6
20/12/2011 4:00	21.5	44.3	20/02/2012 4:00	20.7	43.8	20/05/2012 4:00	21.1	63.5
20/12/2011 4:10	21.5	44.3	20/02/2012 4:10	20.7	43.8	20/05/2012 4:10	21.1	63.4
20/12/2011 4:20	21.5	44.3	20/02/2012 4:20	20.7	43.8	20/05/2012 4:20	21.1	63.3
20/12/2011 4:30	21.5	44.4	20/02/2012 4:30	20.7	43.8	20/05/2012 4:30	21.1	63.3
20/12/2011 4:40	21.5	44.4	20/02/2012 4:40	20.7	43.7	20/05/2012 4:40	21.0	63.3
20/12/2011 4:50	21.5	44.3	20/02/2012 4:50	20.7	43.6	20/05/2012 4:50	21.1	63.3
20/12/2011 5:00	21.4	44.2	20/02/2012 5:00	20.7	43.5	20/05/2012 5:00	21.0	63.2
20/12/2011 5:10	21.4	44.2	20/02/2012 5:10	20.7	43.4	20/05/2012 5:10	21.1	63.1
20/12/2011 5:20	21.4	44.2	20/02/2012 5:20	20.7	43.4	20/05/2012 5:20	21.0	63.1
20/12/2011 5:30	21.4	44.3	20/02/2012 5:30	20.7	43.4	20/05/2012 5:30	21.0	63.1
20/12/2011 5:40	21.4	44.3	20/02/2012 5:40	20.7	43.2	20/05/2012 5:40	21.0	62.9
20/12/2011 5:50	21.4	44.5	20/02/2012 5:50	20.7	43.3	20/05/2012 5:50	21.0	62.9
20/12/2011 6:00	21.4	44.3	20/02/2012 6:00	20.7	43.3	20/05/2012 6:00	21.0	62.9
20/12/2011 6:10	21.4	44.2	20/02/2012 6:10	20.7	43.1	20/05/2012 6:10	21.0	62.8
20/12/2011 6:20	21.4	44.0	20/02/2012 6:20	20.7	43.2	20/05/2012 6:20	21.0	62.8
20/12/2011 6:30	21.4	43.9	20/02/2012 6:30	20.7	43.0	20/05/2012 6:30	21.0	62.8
20/12/2011 6:40	21.5	44.0	20/02/2012 6:40	20.7	42.9	20/05/2012 6:40	21.0	62.8
20/12/2011 6:50	21.5	43.9	20/02/2012 6:50	20.7	43.0	20/05/2012 6:50	21.0	62.5
20/12/2011 7:00	21.5	43.7	20/02/2012 7:00	20.7	43.0	20/05/2012 7:00	21.0	62.5
20/12/2011 7:10	21.5	43.7	20/02/2012 7:10	20.6	42.8	20/05/2012 7:10	21.0	62.4
20/12/2011 7:20	21.5	43.6	20/02/2012 7:20	20.7	42.8	20/05/2012 7:20	21.0	62.3
20/12/2011 7:30	21.5	43.8	20/02/2012 7:30	20.6	42.9	20/05/2012 7:30	21.0	62.3
20/12/2011 7:40	21.5	43.8	20/02/2012 7:40	20.6	42.7	20/05/2012 7:40	21.0	62.1
20/12/2011 7:50	21.5	43.9	20/02/2012 7:50	20.6	42.8	20/05/2012 7:50	21.0	62.0
20/12/2011 8:00	21.5	43.9	20/02/2012 8:00	20.6	42.8	20/05/2012 8:00	21.0	61.9
20/12/2011 8:10	21.5	44.0	20/02/2012 8:10	20.6	42.8	20/05/2012 8:10	21.0	61.9
20/12/2011 8:20	21.5	44.1	20/02/2012 8:20	20.6	42.8	20/05/2012 8:20	20.9	61.8
20/12/2011 8:30	21.5	44.1	20/02/2012 8:30	20.6	42.8	20/05/2012 8:30	20.9	61.9
20/12/2011 8:40	21.5	44.3	20/02/2012 8:40	20.6	42.8	20/05/2012 8:40	21.0	61.8
20/12/2011 8:50	21.5	44.3	20/02/2012 8:50	20.6	42.9	20/05/2012 8:50	21.0	61.8
20/12/2011 9:00	21.5	44.5	20/02/2012 9:00	20.7	42.9	20/05/2012 9:00	21.0	61.6
20/12/2011 9:10	21.5	43.6	20/02/2012 9:10	20.7	43.0	20/05/2012 9:10	21.0	61.4
20/12/2011 9:20	21.5	43.6	20/02/2012 9:20	20.7	43.0	20/05/2012 9:20	20.9	61.2
20/12/2011 9:30	21.5	43.6	20/02/2012 9:30	20.7	43.0	20/05/2012 9:30	20.9	61.0

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

20 Diciembre 2011	Temp.	Humed.	20 Febrero 2012	Temp.	Humed.	20 Mayo 2012	Temp.	Humed.
20/12/2011 9:40	21.5	43.7	20/02/2012 9:40	20.7	43.0	20/05/2012 9:40	21.0	60.9
20/12/2011 9:50	21.5	43.3	20/02/2012 9:50	20.7	43.0	20/05/2012 9:50	21.0	60.9
20/12/2011 10:00	21.5	43.4	20/02/2012 10:00	20.7	43.0	20/05/2012 10:00	21.0	60.4
20/12/2011 10:10	21.4	43.3	20/02/2012 10:10	20.7	43.1	20/05/2012 10:10	20.9	59.9
20/12/2011 10:20	21.4	43.1	20/02/2012 10:20	20.7	43.1	20/05/2012 10:20	20.9	59.7
20/12/2011 10:30	21.4	42.8	20/02/2012 10:30	20.7	43.1	20/05/2012 10:30	20.9	58.9
20/12/2011 10:40	21.4	42.8	20/02/2012 10:40	20.7	43.1	20/05/2012 10:40	20.9	58.4
20/12/2011 10:50	21.4	42.8	20/02/2012 10:50	20.7	43.2	20/05/2012 10:50	20.9	58.6
20/12/2011 11:00	21.4	42.5	20/02/2012 11:00	20.7	43.2	20/05/2012 11:00	20.9	58.3
20/12/2011 11:10	21.4	42.6	20/02/2012 11:10	20.7	43.3	20/05/2012 11:10	20.9	58.1
20/12/2011 11:20	21.4	42.6	20/02/2012 11:20	20.7	43.3	20/05/2012 11:20	20.9	57.8
20/12/2011 11:30	21.4	42.7	20/02/2012 11:30	20.7	43.3	20/05/2012 11:30	20.9	58.0
20/12/2011 11:40	21.4	42.5	20/02/2012 11:40	20.7	43.3	20/05/2012 11:40	20.9	58.2
20/12/2011 11:50	21.4	42.5	20/02/2012 11:50	20.8	43.3	20/05/2012 11:50	20.9	57.9
20/12/2011 12:00	21.4	42.9	20/02/2012 12:00	20.8	43.3	20/05/2012 12:00	20.9	58.0
20/12/2011 12:10	21.4	42.8	20/02/2012 12:10	20.8	43.3	20/05/2012 12:10	20.9	58.2
20/12/2011 12:20	21.4	42.7	20/02/2012 12:20	20.8	43.2	20/05/2012 12:20	20.9	58.2
20/12/2011 12:30	21.4	42.7	20/02/2012 12:30	20.8	43.2	20/05/2012 12:30	21.0	58.2
20/12/2011 12:40	21.4	42.8	20/02/2012 12:40	20.8	43.1	20/05/2012 12:40	21.0	58.7
20/12/2011 12:50	21.4	42.9	20/02/2012 12:50	20.8	43.2	20/05/2012 12:50	21.0	58.9
20/12/2011 13:00	21.4	42.9	20/02/2012 13:00	20.8	43.2	20/05/2012 13:00	21.0	58.7
20/12/2011 13:10	21.4	42.9	20/02/2012 13:10	20.8	43.0	20/05/2012 13:10	21.1	57.0
20/12/2011 13:20	21.4	42.9	20/02/2012 13:20	20.8	43.0	20/05/2012 13:20	21.1	56.9
20/12/2011 13:30	21.4	42.9	20/02/2012 13:30	20.8	43.0	20/05/2012 13:30	21.2	56.4
20/12/2011 13:40	21.4	43.1	20/02/2012 13:40	20.8	42.9	20/05/2012 13:40	21.3	55.9
20/12/2011 13:50	21.4	43.1	20/02/2012 13:50	20.8	42.8	20/05/2012 13:50	21.3	56.2
20/12/2011 14:00	21.4	43.4	20/02/2012 14:00	20.8	42.7	20/05/2012 14:00	21.3	56.2
20/12/2011 14:10	21.4	43.3	20/02/2012 14:10	20.8	42.6	20/05/2012 14:10	21.3	55.0
20/12/2011 14:20	21.4	43.6	20/02/2012 14:20	20.8	42.6	20/05/2012 14:20	21.3	55.1
20/12/2011 14:30	21.4	43.6	20/02/2012 14:30	20.8	42.5	20/05/2012 14:30	21.3	55.7
20/12/2011 14:40	21.4	44.0	20/02/2012 14:40	20.8	42.4	20/05/2012 14:40	21.3	55.5
20/12/2011 14:50	21.4	44.3	20/02/2012 14:50	20.8	42.4	20/05/2012 14:50	21.3	55.9
20/12/2011 15:00	21.4	44.4	20/02/2012 15:00	20.8	42.4	20/05/2012 15:00	21.3	55.7
20/12/2011 15:10	21.4	44.3	20/02/2012 15:10	20.8	42.4	20/05/2012 15:10	21.3	55.3
20/12/2011 15:20	21.4	44.6	20/02/2012 15:20	20.8	42.3	20/05/2012 15:20	21.3	56.7
20/12/2011 15:30	21.4	44.6	20/02/2012 15:30	20.8	42.3	20/05/2012 15:30	21.4	55.5
20/12/2011 15:40	21.4	44.7	20/02/2012 15:40	20.8	42.4	20/05/2012 15:40	21.3	54.8
20/12/2011 15:50	21.4	44.9	20/02/2012 15:50	20.8	42.3	20/05/2012 15:50	21.3	54.6

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

20 Diciembre 2011	Temp.	Humed.	20 Febrero 2012	Temp.	Humed.	20 Mayo 2012	Temp.	Humed.
20/12/2011 16:00	21.4	44.9	20/02/2012 16:00	20.8	42.3	20/05/2012 16:00	21.3	54.6
20/12/2011 16:10	21.4	45.1	20/02/2012 16:10	20.8	42.3	20/05/2012 16:10	21.3	55.0
20/12/2011 16:20	21.4	45.0	20/02/2012 16:20	20.8	42.2	20/05/2012 16:20	21.3	54.6
20/12/2011 16:30	21.5	44.8	20/02/2012 16:30	20.8	42.3	20/05/2012 16:30	21.3	54.5
20/12/2011 16:40	21.5	44.7	20/02/2012 16:40	20.8	42.3	20/05/2012 16:40	21.3	54.7
20/12/2011 16:50	21.5	44.3	20/02/2012 16:50	20.8	42.3	20/05/2012 16:50	21.3	54.7
20/12/2011 17:00	21.5	44.2	20/02/2012 17:00	20.8	42.3	20/05/2012 17:00	21.2	55.0
20/12/2011 17:10	21.5	44.0	20/02/2012 17:10	20.8	42.3	20/05/2012 17:10	21.2	55.1
20/12/2011 17:20	21.4	43.9	20/02/2012 17:20	20.8	42.2	20/05/2012 17:20	21.2	54.8
20/12/2011 17:30	21.4	44.0	20/02/2012 17:30	20.8	42.2	20/05/2012 17:30	21.2	54.8
20/12/2011 17:40	21.4	44.2	20/02/2012 17:40	20.8	42.3	20/05/2012 17:40	21.2	55.0
20/12/2011 17:50	21.4	44.1	20/02/2012 17:50	20.8	42.2	20/05/2012 17:50	21.2	54.9
20/12/2011 18:00	21.4	44.0	20/02/2012 18:00	20.8	42.2	20/05/2012 18:00	21.2	54.5
20/12/2011 18:10	21.4	44.1	20/02/2012 18:10	20.8	42.1	20/05/2012 18:10	21.2	54.4
20/12/2011 18:20	21.4	43.9	20/02/2012 18:20	20.8	42.2	20/05/2012 18:20	21.2	54.7
20/12/2011 18:30	21.4	43.9	20/02/2012 18:30	20.8	42.2	20/05/2012 18:30	21.2	54.9
20/12/2011 18:40	21.4	43.9	20/02/2012 18:40	20.8	42.2	20/05/2012 18:40	21.3	55.6
20/12/2011 18:50	21.3	44.1	20/02/2012 18:50	20.8	42.3	20/05/2012 18:50	21.3	55.8
20/12/2011 19:00	21.3	44.2	20/02/2012 19:00	20.8	42.3	20/05/2012 19:00	21.3	55.9
20/12/2011 19:10	21.3	44.2	20/02/2012 19:10	20.8	42.3	20/05/2012 19:10	21.3	56.0
20/12/2011 19:20	21.3	44.2	20/02/2012 19:20	20.8	42.3	20/05/2012 19:20	21.2	56.2
20/12/2011 19:30	21.3	44.3	20/02/2012 19:30	20.8	42.3	20/05/2012 19:30	21.1	56.2
20/12/2011 19:40	21.3	44.3	20/02/2012 19:40	20.8	42.2	20/05/2012 19:40	21.1	56.4
20/12/2011 19:50	21.3	44.3	20/02/2012 19:50	20.8	42.4	20/05/2012 19:50	21.1	56.6
20/12/2011 20:00	21.3	44.2	20/02/2012 20:00	20.8	42.3	20/05/2012 20:00	21.0	56.7
20/12/2011 20:10	21.3	44.4	20/02/2012 20:10	20.8	42.4	20/05/2012 20:10	21.0	56.6
20/12/2011 20:20	21.3	44.4	20/02/2012 20:20	20.8	42.4	20/05/2012 20:20	21.0	56.6
20/12/2011 20:30	21.3	44.4	20/02/2012 20:30	20.8	42.3	20/05/2012 20:30	21.0	56.2
20/12/2011 20:40	21.3	44.5	20/02/2012 20:40	20.8	42.4	20/05/2012 20:40	21.0	56.3
20/12/2011 20:50	21.3	44.7	20/02/2012 20:50	20.8	42.4	20/05/2012 20:50	21.0	56.5
20/12/2011 21:00	21.3	44.8	20/02/2012 21:00	20.8	42.5	20/05/2012 21:00	21.0	56.1
20/12/2011 21:10	21.3	44.9	20/02/2012 21:10	20.8	42.5	20/05/2012 21:10	21.0	56.0
20/12/2011 21:20	21.3	45.0	20/02/2012 21:20	20.8	42.6	20/05/2012 21:20	21.0	55.5
20/12/2011 21:30	21.4	45.0	20/02/2012 21:30	20.8	42.6	20/05/2012 21:30	21.0	55.7
20/12/2011 21:40	21.4	45.2	20/02/2012 21:40	20.8	42.6	20/05/2012 21:40	21.0	55.5
20/12/2011 21:50	21.4	45.2	20/02/2012 21:50	20.8	42.6	20/05/2012 21:50	20.9	55.5
20/12/2011 22:00	21.4	45.3	20/02/2012 22:00	20.8	42.7	20/05/2012 22:00	20.9	55.5
20/12/2011 22:10	21.4	45.3	20/02/2012 22:10	20.8	42.7	20/05/2012 22:10	20.9	55.4

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

20 Diciembre 2011	Temp.	Humed.	20 Febrero 2012	Temp.	Humed.	20 Mayo 2012	Temp.	Humed.
20/12/2011 22:20	21.4	45.3	20/02/2012 22:20	20.8	42.8	20/05/2012 22:20	20.9	55.5
20/12/2011 22:30	21.4	45.3	20/02/2012 22:30	20.8	42.7	20/05/2012 22:30	20.9	55.4
20/12/2011 22:40	21.4	45.4	20/02/2012 22:40	20.8	42.7	20/05/2012 22:40	20.9	55.4
20/12/2011 22:50	21.4	45.4	20/02/2012 22:50	20.8	42.8	20/05/2012 22:50	20.9	55.6
20/12/2011 23:00	21.4	45.4	20/02/2012 23:00	20.8	42.7	20/05/2012 23:00	20.8	55.4
20/12/2011 23:10	21.4	45.5	20/02/2012 23:10	20.8	42.8	20/05/2012 23:10	20.8	55.4
20/12/2011 23:20	21.4	45.5	20/02/2012 23:20	20.8	42.7	20/05/2012 23:20	20.8	55.6
20/12/2011 23:30	21.4	45.5	20/02/2012 23:30	20.8	42.7	20/05/2012 23:30	20.8	55.7
20/12/2011 23:40	21.4	45.6	20/02/2012 23:40	20.8	42.8	20/05/2012 23:40	20.8	55.6
20/12/2011 23:50	21.4	45.6	20/02/2012 23:50	20.8	42.9	20/05/2012 23:50	20.8	55.6

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

Tabla 6.2. Datos meteorológicos exteriores de la zona del edificio, extraídos de la página web Meteovalencia. Del día 20 de Febrero 2012.

Fecha	Hora	Temp. Ext.	Temp. Max.	Temp. Min.	Hum. Ext.	Pto. Rocío	Vel. Viento	Rad. Solar	Grad Frio	Grad Calor	Temp. Int.	Hum. Int.
20/02/2012	0:00	7.6	7.7	7.4	74	3.3	6.4	0	0.074	0.000	18.1	38
20/02/2012	0:10	7.2	7.5	7.2	75	3.0	4.8	0	0.078	0.000	18.1	38
20/02/2012	0:20	7.8	7.8	7.2	74	3.4	3.2	0	0.073	0.000	17.9	38
20/02/2012	0:30	7.6	7.8	7.3	73	3.1	6.4	0	0.074	0.000	17.9	38
20/02/2012	0:40	7.4	7.8	7.3	70	2.3	6.4	0	0.076	0.000	17.8	38
20/02/2012	0:50	7.3	7.7	7.3	68	1.8	6.4	0	0.076	0.000	17.8	38
20/02/2012	1:00	7.0	7.3	7.0	70	1.9	11.3	0	0.079	0.000	17.8	38
20/02/2012	1:10	7.6	7.6	7.0	64	1.2	6.4	0	0.074	0.000	17.8	38
20/02/2012	1:20	7.8	7.8	7.6	63	1.2	3.2	0	0.073	0.000	17.7	38
20/02/2012	1:30	7.6	7.8	7.6	64	1.2	3.2	0	0.074	0.000	17.6	38
20/02/2012	1:40	7.3	7.6	7.3	65	1.1	3.2	0	0.077	0.000	17.6	37
20/02/2012	1:50	7.1	7.3	7.1	66	1.2	4.8	0	0.078	0.000	17.6	37
20/02/2012	2:00	7.7	7.7	7.1	58	-0.1	4.8	0	0.074	0.000	17.5	37
20/02/2012	2:10	7.6	7.8	7.6	58	-0.1	4.8	0	0.074	0.000	17.5	37
20/02/2012	2:20	7.4	7.6	7.4	56	-0.8	6.4	0	0.076	0.000	17.4	37
20/02/2012	2:30	7.1	7.4	7.1	57	-0.8	6.4	0	0.078	0.000	17.4	37
20/02/2012	2:40	6.7	7.0	6.7	58	-1.0	4.8	0	0.081	0.000	17.4	37
20/02/2012	2:50	7.1	7.1	6.6	52	-2.1	3.2	0	0.078	0.000	17.3	37
20/02/2012	3:00	7.8	7.8	7.1	45	-3.4	6.4	0	0.073	0.000	17.3	37
20/02/2012	3:10	7.8	7.8	7.8	45	-3.4	4.8	0	0.073	0.000	17.2	36
20/02/2012	3:20	7.6	7.8	7.6	44	-3.9	6.4	0	0.074	0.000	17.2	36
20/02/2012	3:30	7.6	7.6	7.6	40	-5.2	6.4	0	0.074	0.000	17.2	36
20/02/2012	3:40	8.0	8.0	7.6	36	-6.2	6.4	0	0.072	0.000	17.2	35
20/02/2012	3:50	8.0	8.1	7.9	35	-6.6	8.0	0	0.072	0.000	17.2	35
20/02/2012	4:00	7.3	8.0	7.3	43	-4.4	4.8	0	0.076	0.000	17.1	35
20/02/2012	4:10	6.6	7.3	6.6	48	-3.7	3.2	0	0.082	0.000	17.1	35
20/02/2012	4:20	6.1	6.6	6.0	54	-2.6	3.2	0	0.085	0.000	17.1	35
20/02/2012	4:30	6.4	6.4	6.1	47	-4.1	3.2	0	0.083	0.000	16.9	35
20/02/2012	4:40	6.8	6.8	6.4	41	-5.5	6.4	0	0.080	0.000	16.9	35
20/02/2012	4:50	7.1	7.1	6.8	39	-5.9	6.4	0	0.078	0.000	16.9	35
20/02/2012	5:00	7.1	7.3	7.1	38	-6.3	4.8	0	0.078	0.000	16.9	35
20/02/2012	5:10	6.8	7.1	6.8	39	-6.2	3.2	0	0.080	0.000	16.9	35
20/02/2012	5:20	6.2	6.8	6.2	43	-5.5	6.4	0	0.084	0.000	16.9	35
20/02/2012	5:30	5.3	6.2	5.3	48	-4.8	4.8	0	0.090	0.000	16.8	34

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

Fecha	Hora	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Pto.	Vel.	Rad.	Grad	Grad	Temp.	Hum.
		Ext.	Max.	Min.	Ext.	Rocio	Viento	Solar	Frio	Calor	Int.	Int.
20/02/2012	5:40	5.1	5.3	5.1	50	-4.5	6.4	0	0.092	0.000	16.8	34
20/02/2012	5:50	4.9	5.1	4.9	51	-4.4	8.0	0	0.093	0.000	16.8	34
20/02/2012	6:00	4.7	4.9	4.7	51	-4.6	11.3	0	0.095	0.000	16.8	34
20/02/2012	6:10	4.6	4.7	4.6	51	-4.7	11.3	0	0.095	0.000	16.8	34
20/02/2012	6:20	4.7	4.7	4.6	50	-4.8	11.3	0	0.095	0.000	16.7	34
20/02/2012	6:30	4.7	4.7	4.7	49	-5.1	11.3	0	0.095	0.000	16.7	34
20/02/2012	6:40	4.8	4.8	4.7	49	-5.0	8.0	0	0.094	0.000	16.7	34
20/02/2012	6:50	4.8	4.8	4.7	49	-5.0	9.7	0	0.094	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:00	4.7	4.8	4.7	49	-5.1	9.7	0	0.095	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:10	4.4	4.7	4.4	50	-5.1	8.0	0	0.097	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:20	4.2	4.4	4.2	50	-5.3	8.0	0	0.098	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:30	4.3	4.3	4.2	51	-4.9	8.0	0	0.097	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:40	4.3	4.3	4.3	50	-5.2	9.7	0	0.097	0.000	16.6	34
20/02/2012	7:50	4.4	4.4	4.4	50	-5.1	6.4	3	0.097	0.000	16.4	34
20/02/2012	8:00	4.2	4.4	4.2	50	-5.3	6.4	10	0.098	0.000	16.4	34
20/02/2012	8:10	4.2	4.2	4.2	50	-5.3	4.8	22	0.098	0.000	16.4	34
20/02/2012	8:20	4.1	4.2	4.1	50	-5.4	4.8	39	0.099	0.000	16.4	34
20/02/2012	8:30	4.2	4.2	4.1	50	-5.3	3.2	76	0.098	0.000	16.4	34
20/02/2012	8:40	4.3	4.3	4.2	49	-5.5	3.2	103	0.097	0.000	16.3	35
20/02/2012	8:50	4.4	4.4	4.3	49	-5.4	3.2	130	0.097	0.000	16.6	35
20/02/2012	9:00	4.4	4.4	4.3	50	-5.1	6.4	158	0.097	0.000	17.1	35
20/02/2012	9:10	4.8	4.8	4.4	49	-5.0	6.4	189	0.094	0.000	17.4	33
20/02/2012	9:20	5.3	5.3	4.9	48	-4.9	8.0	219	0.091	0.000	17.8	33
20/02/2012	9:30	5.7	5.7	5.3	47	-4.7	8.0	247	0.088	0.000	18.1	33
20/02/2012	9:40	6.1	6.1	5.7	46	-4.7	8.0	277	0.085	0.000	18.3	33
20/02/2012	9:50	6.3	6.3	6.1	46	-4.5	8.0	305	0.084	0.000	18.4	33
20/02/2012	10:00	6.7	6.7	6.3	45	-4.4	6.4	333	0.081	0.000	18.5	33
20/02/2012	10:10	7.2	7.2	6.7	44	-4.3	4.8	361	0.078	0.000	18.6	33
20/02/2012	10:20	7.8	7.8	7.2	43	-4.0	4.8	389	0.073	0.000	18.6	33
20/02/2012	10:30	8.3	8.3	7.8	42	-3.9	4.8	416	0.069	0.000	18.5	32
20/02/2012	10:40	8.7	8.7	8.3	38	-4.8	3.2	440	0.067	0.000	18.6	31
20/02/2012	10:50	9.2	9.2	8.7	35	-5.5	1.6	465	0.063	0.000	18.6	32
20/02/2012	11:00	9.6	9.6	9.2	32	-6.4	1.6	488	0.061	0.000	18.5	32
20/02/2012	11:10	10.2	10.2	9.6	32	-5.8	1.6	509	0.056	0.000	18.3	32
20/02/2012	11:20	11.4	11.4	10.3	29	-6.0	1.6	531	0.048	0.000	18.3	32
20/02/2012	11:30	11.8	11.8	11.4	27	-6.6	1.6	548	0.046	0.000	18.1	30
20/02/2012	11:40	10.9	11.8	10.9	29	-6.5	6.4	562	0.052	0.000	18.1	29

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

Fecha	Hora	Temp. Ext.	Temp. Max.	Temp. Min.	Hum. Ext.	Pto. Rocio	Vel. Viento	Rad. Solar	Grad Frio	Grad Calor	Temp. Int.	Hum. Int.
20/02/2012	11:50	11.8	11.8	10.9	30	-5.3	3.2	576	0.046	0.000	17.8	29
20/02/2012	12:00	11.7	11.9	11.7	28	-6.2	4.8	594	0.046	0.000	17.8	30
20/02/2012	12:10	11.3	11.6	11.3	28	-6.6	6.4	607	0.049	0.000	17.6	30
20/02/2012	12:20	11.7	11.7	11.1	29	-5.8	4.8	617	0.046	0.000	17.5	30
20/02/2012	12:30	12.7	12.7	11.8	28	-5.4	3.2	627	0.039	0.000	17.3	30
20/02/2012	12:40	11.8	12.8	11.8	27	-6.6	8.0	638	0.046	0.000	17.2	30
20/02/2012	12:50	11.2	11.8	11.2	28	-6.6	11.3	645	0.049	0.000	17.2	30
20/02/2012	13:00	11.4	11.4	11.2	28	-6.5	9.7	650	0.048	0.000	17.1	30
20/02/2012	13:10	11.6	11.6	11.1	29	-5.9	6.4	653	0.047	0.000	16.9	29
20/02/2012	13:20	11.1	11.6	11.1	30	-5.8	11.3	656	0.050	0.000	16.9	30
20/02/2012	13:30	11.6	11.7	11.1	29	-5.9	6.4	657	0.047	0.000	16.9	30
20/02/2012	13:40	11.8	11.8	11.6	30	-5.2	8.0	655	0.045	0.000	16.9	31
20/02/2012	13:50	11.9	11.9	11.6	30	-5.1	6.4	651	0.044	0.000	16.9	31
20/02/2012	14:00	11.6	12.2	11.6	32	-4.6	8.0	645	0.047	0.000	16.9	31
20/02/2012	14:10	11.4	11.6	11.1	33	-4.3	8.0	637	0.048	0.000	16.9	31
20/02/2012	14:20	11.2	11.6	11.2	34	-4.1	11.3	626	0.049	0.000	16.9	31
20/02/2012	14:30	11.1	11.4	11.1	35	-3.8	12.9	614	0.050	0.000	16.8	32
20/02/2012	14:40	11.8	11.8	11.1	34	-3.5	6.4	598	0.045	0.000	16.8	32
20/02/2012	14:50	12.5	12.5	11.8	34	-3.0	4.8	584	0.041	0.000	16.8	32
20/02/2012	15:00	11.6	12.5	11.6	35	-3.4	11.3	569	0.047	0.000	16.9	32
20/02/2012	15:10	11.6	11.8	11.6	35	-3.4	9.7	552	0.047	0.000	16.8	32
20/02/2012	15:20	11.8	11.8	11.6	35	-3.2	8.0	532	0.046	0.000	16.8	32
20/02/2012	15:30	11.6	12.1	11.6	36	-3.0	9.7	513	0.047	0.000	16.8	32
20/02/2012	15:40	11.7	11.7	11.6	35	-3.3	9.7	492	0.046	0.000	16.8	32
20/02/2012	15:50	12.3	12.3	11.7	33	-3.5	4.8	469	0.042	0.000	16.7	32
20/02/2012	16:00	12.0	12.5	12.0	31	-4.6	8.0	446	0.044	0.000	16.7	32
20/02/2012	16:10	11.6	12.0	11.6	31	-5.0	12.9	421	0.047	0.000	16.7	31
20/02/2012	16:20	11.7	11.8	11.6	33	-4.0	9.7	395	0.046	0.000	16.7	31
20/02/2012	16:30	11.9	12.0	11.7	32	-4.3	8.0	367	0.044	0.000	16.7	32
20/02/2012	16:40	12.2	12.2	11.9	35	-2.9	6.4	339	0.043	0.000	16.7	32
20/02/2012	16:50	12.3	12.5	12.3	35	-2.7	6.4	311	0.042	0.000	16.7	32
20/02/2012	17:00	11.8	12.3	11.8	35	-3.2	8.0	281	0.046	0.000	16.7	32
20/02/2012	17:10	11.7	11.8	11.4	38	-2.1	8.0	251	0.046	0.000	16.7	32
20/02/2012	17:20	11.7	11.8	11.7	37	-2.5	8.0	223	0.046	0.000	16.7	32
20/02/2012	17:30	11.8	11.8	11.4	39	-1.7	6.4	193	0.046	0.000	16.7	32
20/02/2012	17:40	12.2	12.3	11.8	37	-2.1	3.2	163	0.043	0.000	17.4	33
20/02/2012	17:50	11.4	12.2	11.4	40	-1.7	8.0	133	0.048	0.000	17.9	33

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

Fecha	Hora	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Pto.	Vel.	Rad.	Grad	Grad	Temp.	Hum.
		Ext.	Max.	Min.	Ext.	Rocio	Viento	Solar	Frio	Calor	Int.	Int.
20/02/2012	18:00	11.4	11.4	11.3	42	-1.0	8.0	109	0.048	0.000	18.2	33
20/02/2012	18:10	11.3	11.7	11.3	42	-1.2	6.4	80	0.049	0.000	18.5	33
20/02/2012	18:20	11.2	11.2	11.2	43	-0.9	4.8	52	0.049	0.000	18.8	35
20/02/2012	18:30	11.4	11.4	11.2	44	-0.4	1.6	30	0.048	0.000	19.3	33
20/02/2012	18:40	10.9	11.4	10.9	47	0.0	6.4	15	0.052	0.000	19.7	32
20/02/2012	18:50	10.7	10.9	10.7	48	0.1	3.2	5	0.053	0.000	19.9	32
20/02/2012	19:00	10.6	10.7	10.6	49	0.3	4.8	0	0.054	0.000	20.2	32
20/02/2012	19:10	10.6	10.6	10.6	50	0.6	3.2	0	0.054	0.000	20.4	31
20/02/2012	19:20	10.4	10.6	10.4	51	0.7	1.6	0	0.055	0.000	19.9	31
20/02/2012	19:30	10.4	10.4	10.4	53	1.3	4.8	0	0.055	0.000	19.4	31
20/02/2012	19:40	10.4	10.4	10.4	54	1.5	3.2	0	0.055	0.000	19.1	32
20/02/2012	19:50	10.4	10.4	10.4	54	1.5	3.2	0	0.055	0.000	18.8	32
20/02/2012	20:00	10.4	10.4	10.4	55	1.7	3.2	0	0.055	0.000	18.5	32
20/02/2012	20:10	10.3	10.4	10.3	56	1.9	0.0	0	0.056	0.000	18.3	33
20/02/2012	20:20	10.2	10.3	10.2	57	2.1	1.6	0	0.056	0.000	18.2	34
20/02/2012	20:30	10.1	10.1	10.1	58	2.2	1.6	0	0.057	0.000	18.3	34
20/02/2012	20:40	9.9	10.1	9.9	59	2.2	0.0	0	0.059	0.000	18.2	34
20/02/2012	20:50	9.8	9.9	9.8	60	2.4	0.0	0	0.059	0.000	18.1	34
20/02/2012	21:00	9.7	9.8	9.7	61	2.6	0.0	0	0.060	0.000	18.1	34
20/02/2012	21:10	9.7	9.7	9.7	61	2.6	0.0	0	0.060	0.000	18.1	34
20/02/2012	21:20	9.4	9.7	9.4	60	2.0	1.6	0	0.062	0.000	17.9	34
20/02/2012	21:30	9.2	9.4	9.2	62	2.3	1.6	0	0.063	0.000	17.8	34
20/02/2012	21:40	9.2	9.2	9.2	62	2.3	1.6	0	0.064	0.000	17.8	35
20/02/2012	21:50	8.2	9.2	8.2	62	1.4	1.6	0	0.070	0.000	17.8	34
20/02/2012	22:00	8.1	8.2	8.1	62	1.2	1.6	0	0.071	0.000	17.7	34
20/02/2012	22:10	8.5	8.5	8.1	62	1.6	3.2	0	0.068	0.000	17.6	33
20/02/2012	22:20	8.3	8.5	8.3	61	1.2	1.6	0	0.069	0.000	17.6	33
20/02/2012	22:30	7.6	8.3	7.6	63	1.0	1.6	0	0.074	0.000	17.5	33
20/02/2012	22:40	7.0	7.6	7.0	63	0.4	1.6	0	0.079	0.000	17.4	33
20/02/2012	22:50	8.2	8.2	7.1	62	1.4	1.6	0	0.070	0.000	17.3	33
20/02/2012	23:00	8.7	8.7	8.2	59	1.1	1.6	0	0.067	0.000	17.3	33
20/02/2012	23:10	6.8	8.7	6.8	61	-0.2	3.2	0	0.080	0.000	17.5	34
20/02/2012	23:20	6.2	6.8	6.2	63	-0.3	4.8	0	0.084	0.000	17.6	35
20/02/2012	23:30	6.2	6.3	6.2	62	-0.6	3.2	0	0.084	0.000	17.5	34
20/02/2012	23:40	5.9	6.2	5.9	62	-0.8	4.8	0	0.086	0.000	17.4	34
20/02/2012	23:50	6.0	6.0	5.7	62	-0.7	4.8	0	0.086	0.000	17.3	34

6.2. Análisis de resultados

Después del proceso de recogida de datos de temperatura y humedad relativa en el museo, 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. 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.

Para analizar los resultados se han realizado gráficos de tipo líneas con todas las sondas del museo, que muestran la evolución de las temperaturas en función del tiempo, por un lado y la humedad relativa, por otro.

Como las sondas están situadas a pocos metros una de la otra (ver figura 4), todas se han comportado de la misma manera y tienen valores similares. Por ello y porque insertar el análisis de cada una de las sondas sería repetitivo y de larga extensión, se agregan y comentan los gráficos de la sonda Symaro N° 2 de Siemens como muestra del trabajo realizado.

Para comenzar, se recuerda que cuando se deba climatizar, los valores de confort obligatorios son [RITE, 2009]:

Invierno: Temperatura: 20 - 23° C

Humedad relativa: 40 - 60%

Verano: Temperatura: 23 - 25° C

Humedad: 40 - 60%

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

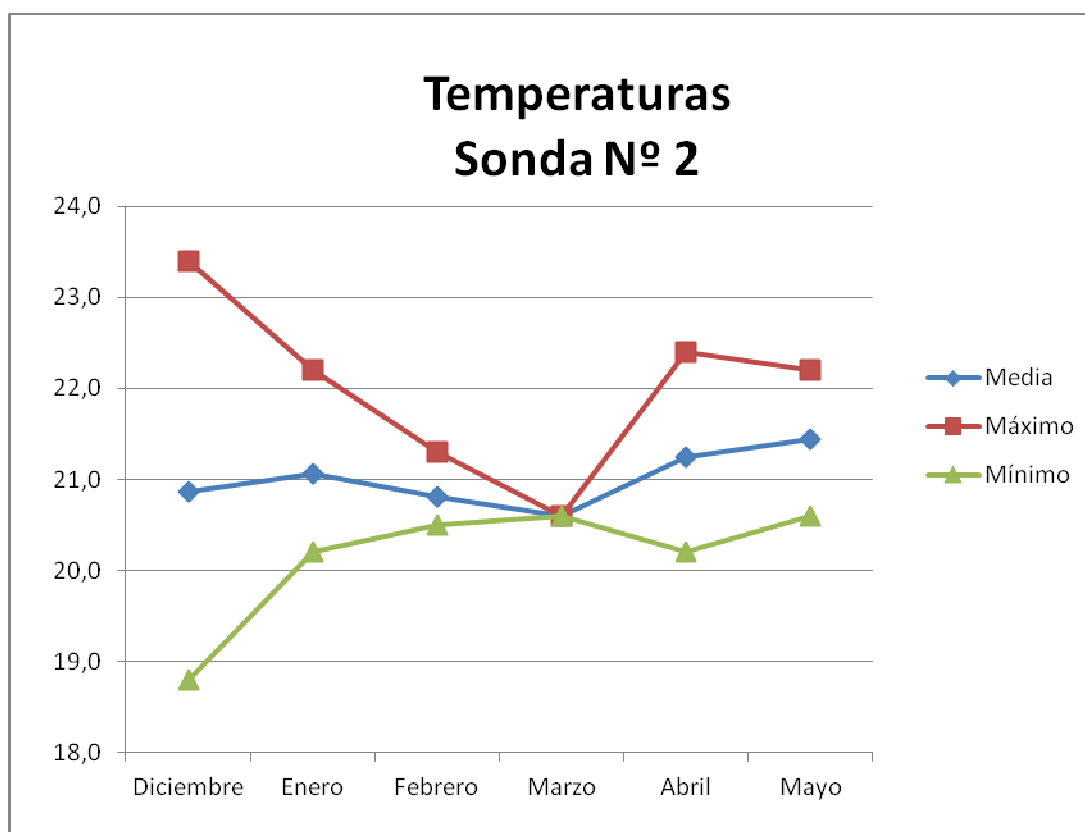


Figura 6.5. Gráfico de temperatura de la sonda N°2.

Este gráfico muestra los valores medios, mínimos y máximos de temperatura que ha captado la sonda en cada uno de los 6 meses.

Como se puede apreciar, en diciembre existe una diferencia de hasta 5° de su valor mínimo (18,8°) a su valor máximo (23,4°), quedando los dos picos fuera de los valores obligatorios por RITE en invierno. Esto se debe a que cuando se configuró por primera vez en la investigación los climatizadores de la sala, los valores de retroceso estaban demasiado distantes, para cumplir con la normativa de confort.

Los climatizadores funcionan de manera que después de generar la temperatura que queremos conseguir se paran para ahorrar energía y los muros o elementos de la envolvente se encargan de mantener esa temperatura durante el mayor tiempo posible. Pero es inevitable perder ese calor/frío y los climatizadores tienen que arrancar de nuevo cuando las temperaturas vuelven a un valor desconfortable, pues a esto se le llama

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

retroceso, son los valores que se colocan en el sistema de climatización para que vuelva a activarse la refrigeración o calefacción una vez llegado al punto de desconfort.

En enero se cambió la configuración de los valores de retroceso y dio buenos resultados, los valores cumplen la norma dando una temperatura media adecuada de 21°. Lógicamente, al cambiar el retroceso, los aparatos de climatización tienen que trabajar más a menudo e implica un consumo energético mayor.

A finales de febrero hubo un problema en el software que recoge los datos y sin motivo aparente se bloqueó. Es un software antiguo diseñado en su momento específicamente para mostrar los datos recogidos por las sondas en un monitor, sin instrucciones de uso y mantenimiento.

Marzo estuvo bloqueado por completo. Pero los climatizadores funcionaban con normalidad, el problema solo estaba en la recogida de los datos.

En abril se reinicia por completo el software y reconfiguran todas las sondas, a partir de entonces, se consigue reanudar la recogida de datos de las sondas. Junto con Mayo se consigue una temperatura media de entre 21° y 22°, muy adecuada para el confort en esas fechas.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

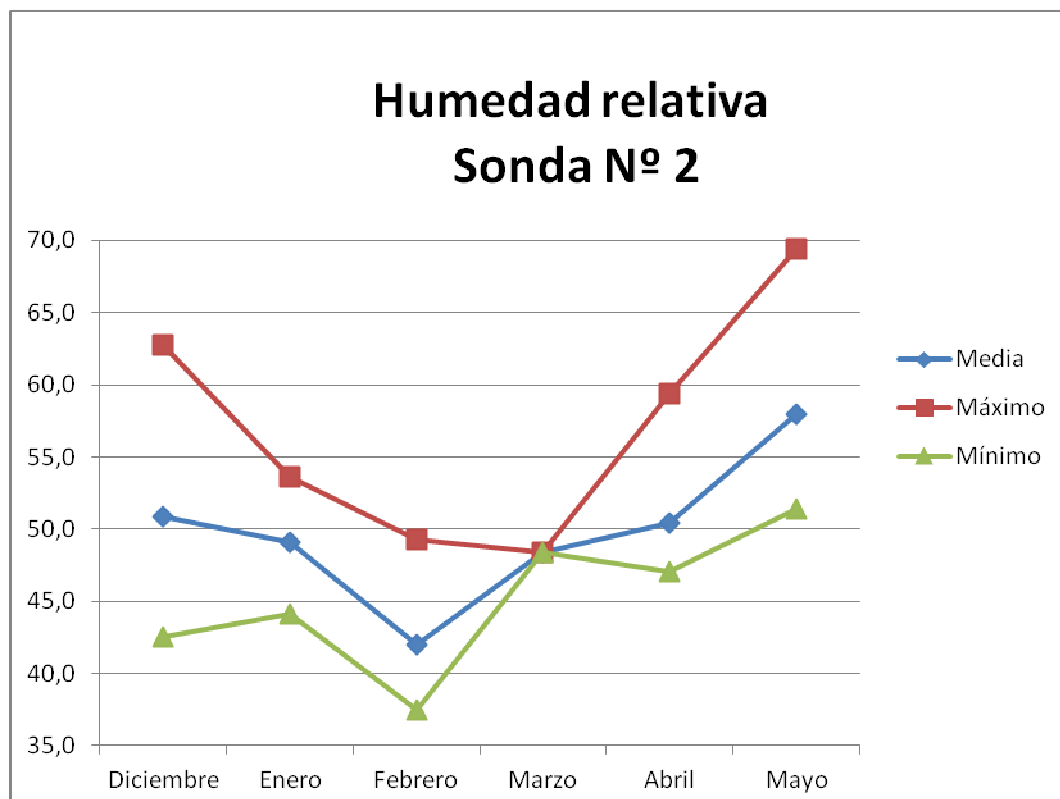


Figura 6.6. Gráfico de humedad relativa de la sonda N°2.

En la figura 6.6 se representan los valores medios, mínimos y máximos de humedad relativa del ambiente que ha captado la sonda en la sala del museo.

El análisis de comportamiento es parecido al de temperatura. Pero cuando hablamos de contenido de humedad nos estamos refiriendo a la cantidad de vapor de agua presente en una masa de aire y cuando hablemos de humedad relativa, nos referiremos a la cantidad máxima de vapor de agua que puede tener el aire a una temperatura dada.

En diciembre los picos son más altos por la configuración del retroceso y tanto en enero como abril la humedad esta entre 40% y 60%, perfecto para cumplir confort.

En febrero el aire es muy seco, esto está relacionado con el clima exterior de noches frías y en mayo está bastante saturado por la subida repentina de

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

temperaturas. A pesar de todo, las medias mensuales están dentro de lo confortable.

Para finalizar se agregan gráficos que indican las medias de temperaturas y humedades de todas las sondas de manera global, para ver hacer un resumen de lo que ha sido el trabajo de recogida de datos de diciembre a mayo.

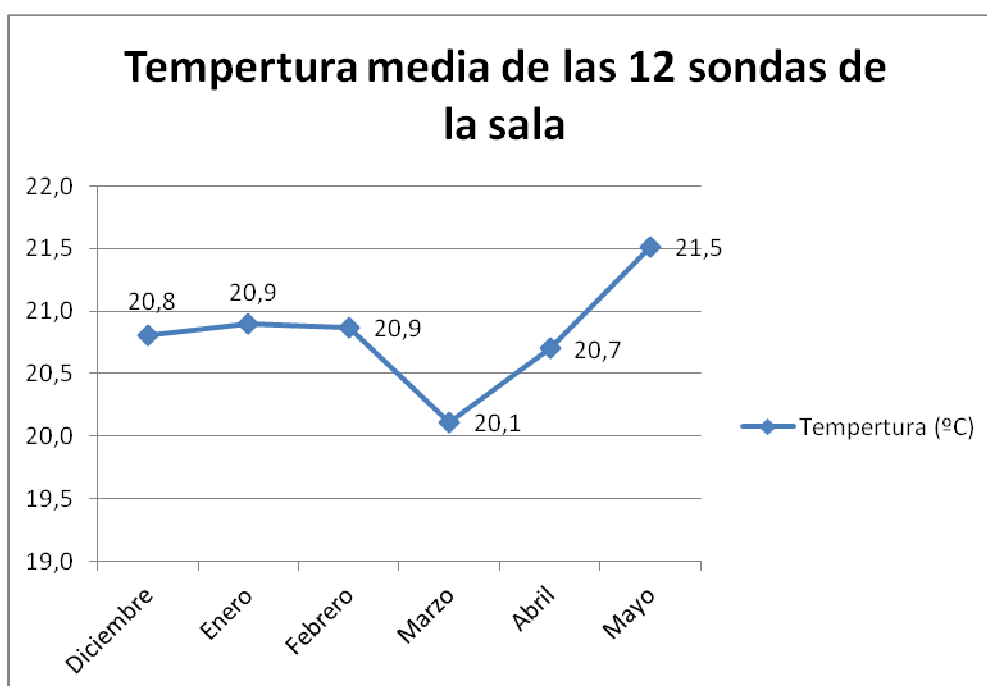


Figura 6.7. Gráfico de temperatura media de las sondas de sala.

Este gráfico muestra la temperatura media de las 12 sondas situadas por la sala y pasillos en función del tiempo. Las temperaturas son aceptables, rondan los 21°. De marzo no hay datos recogidos (como ya se ha explicado) y suben un poco en mayo por la llegada del calor estival.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

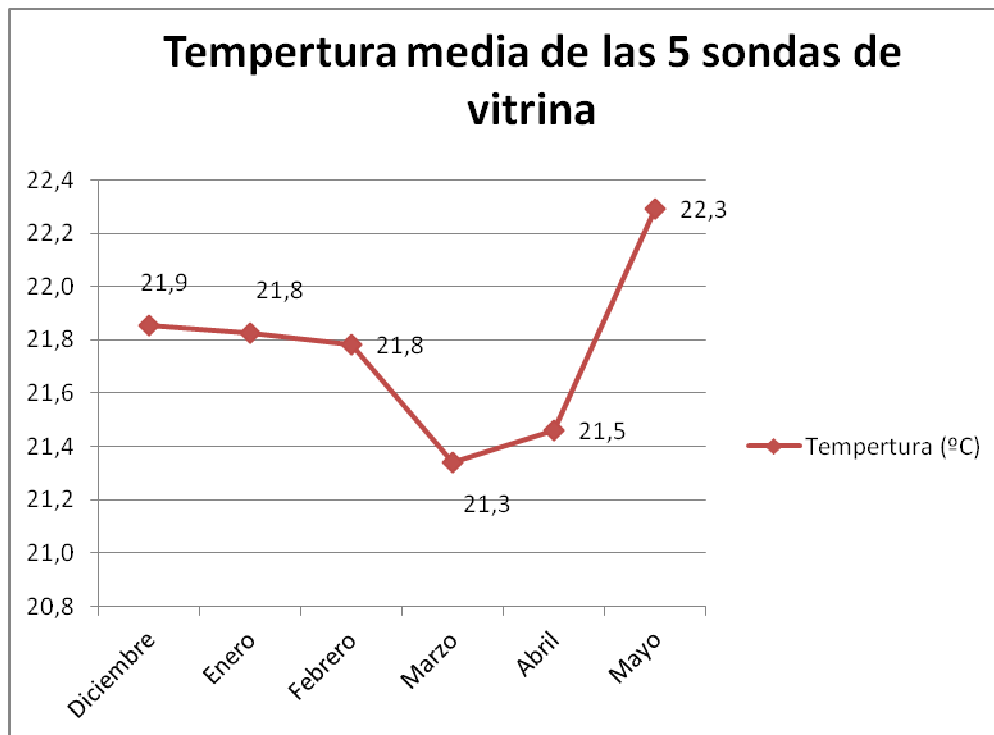


Figura 6.8. Gráfico de temperatura media de las sondas de vitrina.

La figura 6.8 muestra la temperatura media de los 5 loggers que hay dentro de las vitrinas durante los 6 meses. Están aproximadamente un grado por encima de las medias de temperaturas de fuera de las vitrinas mostradas en la figura 6.7. Esto se debe a que las vitrinas son semiestancas con acristalamientos y en el interior se mantiene mejor el calor.

Respecto a la representacion media de la humedad relativa de todas las sondas de diciembre a mayo tenemos las figuras 6.9 y 6.10.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

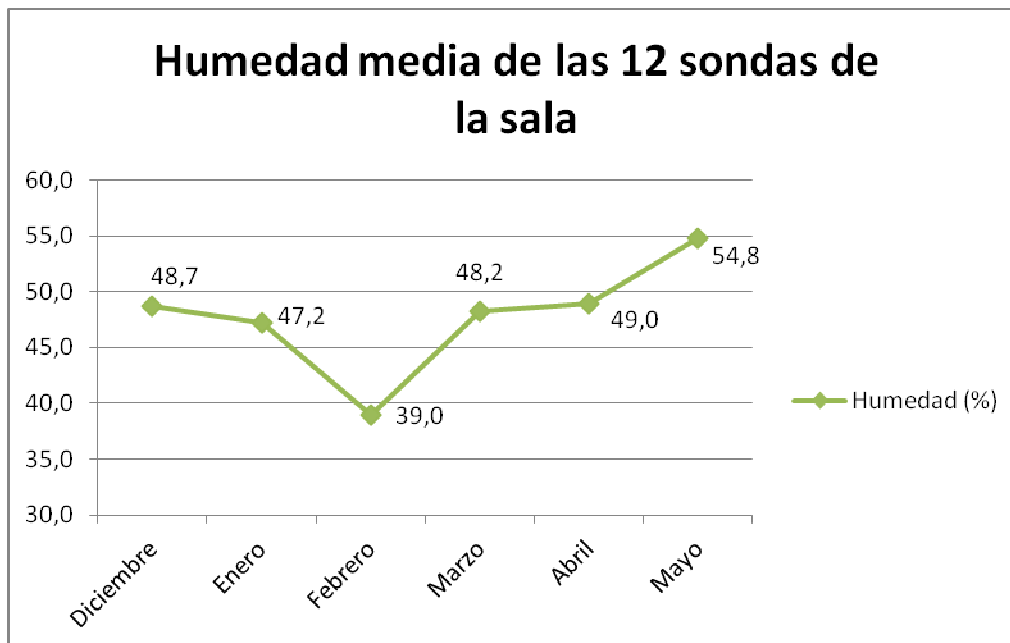


Figura 6.9. Gráfico de humedad relativa media de las sondas de sala.

Los valores rondan el 50% de humedad, que es lo normal en Valencia. Febrero con un 39% es el mes más seco, como ya hemos comentado con anterioridad y mayo el más saturado por las subidas de temperatura estivales.

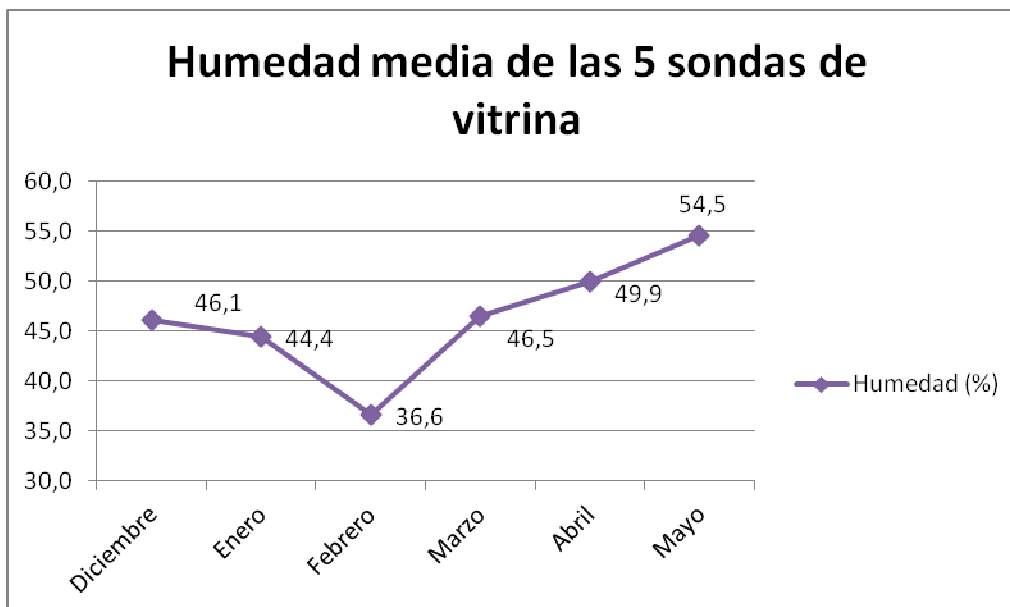


Figura 6.10. Gráfico de humedad relativa media de las sondas de vitrina.

6. Datos experimentales de temperatura y humedad

Dentro de las vitrinas el porcentaje de humedad relativa es menor por el mismo motivo por el que en el interior se mantienen mejor las temperaturas deseadas. El acristalamiento aísla el interior y provoca que tenga menor porcentaje de vapor de agua, que el ambiente exterior de las vitrinas.

7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MUROS

7.1. Cálculo de valores de transmitancia

Uno de los puntos más importantes para que quede bien definida la caracterización térmica de un muro es conocer su transmitancia térmica U (W/m^2K). La **transmitancia térmica** es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Vamos a calcular la transmitancia térmica de los muros de nuestro edificio histórico, basándonos en el *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
- Cerramientos en contacto con el terreno

El Museo de Historia de Valencia tiene 4 cerramientos exteriores y gran porcentaje de ellos están enterrados, como ya explicamos en la memoria constructiva. Pero a excepción de la fachada principal norte, todos ellos son iguales, tienen la misma tipología constructiva, mismos materiales y mismos espesores de los mismos.

Por lo tanto, habrá 3 tipos distintos de cerramientos que analizaremos a continuación.

7. Caracterización de los muros

a) Cerramientos en contacto con el aire exterior

a.1) Fachadas sur, este y oeste

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica U (W/m^2K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Siendo:

R_T la resistencia térmica total del componente constructivo [$m^2 K/W$].

La resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}$$

Siendo:

R_1, R_2, \dots, R_n las resistencias térmicas de cada capa [$m^2 K/W$];

R_{SI} y R_{SE} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla E.1 del CTE de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$m^2 K/W$].

7. Caracterización de los muros

Tabla 7.1. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

e - el espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considerará el espesor medio.

λ - la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos, [W/m K].

Después de esto comenzamos con el **cálculo**:

1º Calculamos la resistencia térmica de cada capa del muro.

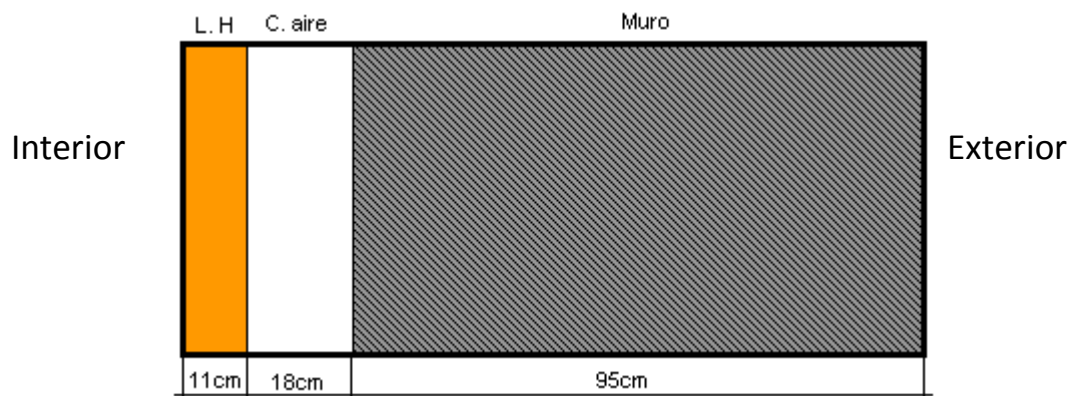


Figura 7.1. Esquema gráfico de las diferentes capas del cerramiento.

7. Caracterización de los muros

Para ello necesitamos el espesor y la conductividad térmica de cada material. La conductividad se extrae de una serie de tablas del CTE.

Comenzamos con la fábrica de ladrillo hueco triple de 11 cm de espesor.

Tabla 7.2. Fábrica de ladrillo cerámico.

Fábrica de ladrillo cerámico						
Descripción		HE				
Fábrica ⁽¹⁾	Espesor de la fábrica E mm	ρ kg / m ³	$R^{(1) (2)}$ m ² ·K/ W	c_p J / kg·K	μ	
Ladrillo hueco LH						
Tabique de LH sencillo	40 ≤ E ≤ 60	1000	0,09	1000	10	
Tabicón de LH doble	60 < E ≤ 90	930	0,16	1000	10	
Tabicón de LH triple	100 ≤ E ≤ 110	920	0,23	1000	10	
Ladrillo hueco gran formato GF⁽³⁾						
Tabique de LH sencillo GF	40 ≤ E ≤ 60	670	0,18	1000	10	
Tabicón de LH doble GF	60 < E ≤ 90	630	0,33	1000	10	
Tabicón de LH triple GF	100 ≤ E ≤ 110	620	0,48	1000	10	
Ladrillo perforado LP						
½ pie	40 ≤ G ≤ 60	115 ó 130	1140	0,18	1000	10
	60 < G ≤ 80	115 ó 130	1020	0,21	1000	10
	80 < G ≤ 100	115 ó 130	900	0,23	1000	10
1 pie	40 ≤ G ≤ 60	240 ó 280	1220	0,35	1000	10
	60 < G ≤ 80	240 ó 280	1150	0,41	1000	10
	80 < G ≤ 100	240 ó 280	1000	0,47	1000	10
Ladrillo macizo LM						
½ pie	40 ≤ G ≤ 50	115 ó 130	2170	0,12	1000	10
1 pie	40 ≤ G ≤ 50	240 ó 280	2140	0,17	1000	10

(1) Valores válidos para ladrillos con formato métrico y con formato catalán.

(2) Se ha considerado un mortero de $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$

(3) Dentro del grupo de piezas del ladrillo hueco gran formato se considera incluido el panel prefabricado de cerámica y yeso

La tabla nos indica directamente la resistencia térmica, en nuestro caso **0,23 m²k/W**.

7. Caracterización de los muros

La resistencia de la cámara de aire viene definida en la tabla E.2 del CTE en función de su espesor. Los demás valores se pueden obtener por interpolación lineal.

Tabla 7.3. Resistencias térmicas de cámaras de aire.

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Vamos a estimar la interpolación en **0,21 m²k/W**.

7. Caracterización de los muros

Y por último la resistencia del muro la vamos a subdividir en dos capas, por ser un muro antiguo y obsoleto en la construcción actual, que no esta contemplado en las tablas de documentos reconocidos.

Dividiremos su espesor en los 2 materiales distintos que lo componen según el porcentaje aproximado que cada material ocupa en la totalidad del elemento:

- a) Cemento de cal → 30 % de 95cm → 28,5 cm de espesor.
- b) Mampostería de piedra caliza → 70 % de 95cm → 66,5 cm de espesor.

Tabla 7.4. Morteros.

Morteros				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco o enlucido ^{(1) (2)}	$\rho > 2000$	1,80	1000	10
	$1800 < \rho \leq 2000$	1,30	1000	10
	$1600 < \rho \leq 1800$	1,00	1000	10
	$1450 < \rho \leq 1600$	0,80	1000	10
	$1250 < \rho \leq 1450$	0,70	1000	10
	$1000 < \rho \leq 1250$	0,55	1000	10
	$750 < \rho \leq 1000$	0,40	1000	10
	$500 < \rho \leq 750$	0,30	1000	10
Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita) ⁽²⁾	$\rho \leq 1000$	0,41	1000	10
Mortero de yeso	$\rho \leq 1600$	0,80	1000	6

⁽¹⁾ Para el mortero colocado "in situ" se considera una densidad de 1900 kg/m³

⁽²⁾ Los valores de diseño anotados corresponden a un percentil del 90% y provienen de los valores declarados obtenidos según la norma UNE EN 1745:2002 y corregidos según los criterios de la norma UNE EN 12524:2000, con factor de corrección de humedad, F_m, igual a 1,17.

$$R = \frac{0,285}{0,55} = 0,518$$

El cálculo nos da una resistencia para cemento de cal de **0,518 m²k/W**.

7. Caracterización de los muros

Tabla 7.5. Pétreos y suelos.

Rocas y suelos naturales				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	$\lambda^{(1)}$ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Rocas ígneas				
Basalto	2700 ≤ ρ ≤ 3000	3,50	1000	10000
Granito	2500 ≤ ρ ≤ 2700	2,80	1000	10000
Piedra pómez natural	ρ ≤ 400	0,12	1000	6
Roca natural porosa (por ejem. Lava)	ρ ≤ 1600	0,55	1000	15
Traquita, andesita	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,10	1000	15
Rocas o suelos sedimentarios				
Arcilla o limo	1200 ≤ ρ ≤ 1800	1,50	1670-2500	50
Arena y grava	1700 ≤ ρ ≤ 2200	2,00	910-1180	50
Arenisca	2200 ≤ ρ ≤ 2600	3,00		
Asperón	1900 ≤ ρ ≤ 2500	1,80	1000	40
	1300 ≤ ρ < 1900	0,90	1000	20
Caliza, muy dura	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	200
Caliza, dura	2000 ≤ ρ ≤ 2190	1,70	1000	150
Caliza, dureza media	1800 ≤ ρ ≤ 1990	1,40	1000	40
Caliza, blanda	1600 ≤ ρ ≤ 1790	1,10	1000	25
Caliza, muy blanda	ρ ≤ 1590	0,85	1000	20
Silex	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	10000
Rocas metamórficas				
Gneis, Pórfido	2300 ≤ ρ ≤ 2900	3,50	1000	10000
Esquisto, Pizarra	2000 ≤ ρ ≤ 2800	2,20	1000	800
Mármol	2600 ≤ ρ ≤ 2800	3,50	1000	10000
Tierra vegetal				
	ρ ≤ 2050	0,52	1840	-

⁽¹⁾ La conductividad térmica incluye el efecto producido por las posibles juntas.

$$R = \frac{0,665}{1,40} = 0,475$$

El cálculo nos da una resistencia térmica para la piedra caliza de **0,475 m²k/W**.

Ahora obtenemos la R_{si} y R_{se} de la tabla E.1 del CTE (ver tabla 7.1):

Cerramiento vertical con flujo horizontal → $R_{se}=0,04$ $R_{si}=0,13$

Calculamos finalmente la **resistencia térmica total del cerramiento** que viene dado por la expresión.

$$R_T = R_{Sf} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}$$

$$R_T = 0,13 + 0,23 + 0,21 + 0,518 + 0,475 + 0,04 = \mathbf{1,603 \text{ m}^2\text{k/W}}$$

7. Caracterización de los muros

Y por último la **transmitancia térmica**.

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{1,603} = 0,623 \text{ W/m}^2\text{K}$$

7. Caracterización de los muros

a.2) Fachada principal norte

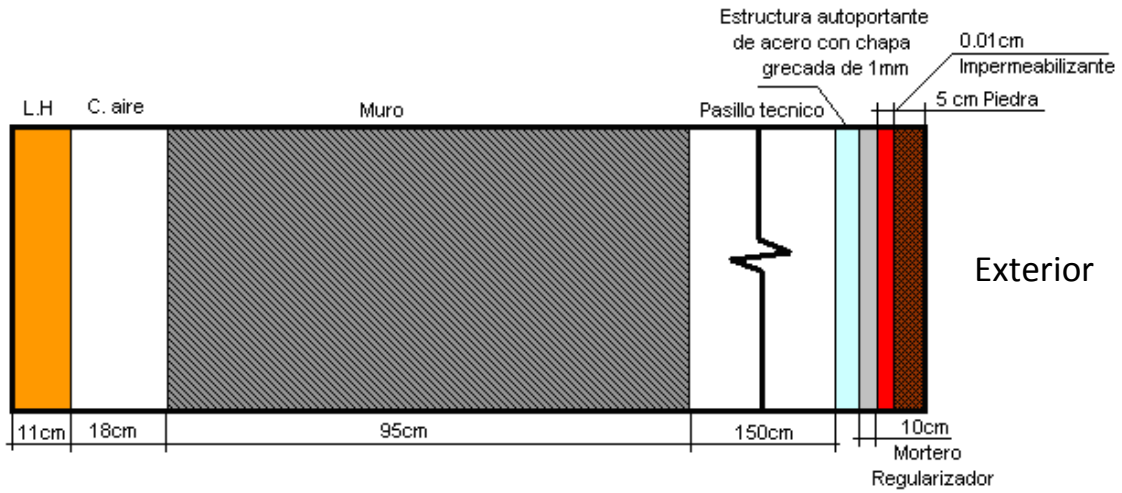


Figura 7.2. Esquema gráfico de las diferentes capas del cerramiento.

Ya tenemos calculada la resistencia térmica del ladrillo (**0,23 m²k/W**), la primera cámara de aire (**0,21 m²k/W**) y el muro histórico (**0,518 + 0,475 m²k/W**).

Ahora deberíamos interpolar para calcular la resistencia de la segunda cámara de aire, pero siendo ésta una anomalía, teniendo 1,5m de espesor, vamos a darle un valor máximo de **0,30 m²k/W**.

Tabla 7.6. Metales.

Material	Metales			
	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Acero	7800	50	450	∞
Acero Inoxidable	7900	17	460	∞
Aluminio	2700	230	880	∞
Aluminio, aleaciones de	2800	160	880	∞
Bronce	8700	65	380	∞
Cobre	8900	380	380	∞
Cromo	7160	93,7	449	∞
Estaño	7310	66,6	227	∞
Hierro	7870	72	450	∞
Hierro, fundición	7500	50	450	∞
Latón	8400	120	380	∞
Níquel	8900	90,7	444	∞
Plomo	11300	35	130	∞
Titanio	4500	21,9	522	∞
Zinc	7200	110	380	∞

7. Caracterización de los muros

$$R = \frac{0,001}{50} = 0,00002$$

El cálculo nos da una resistencia para la chapa grecada de acero de **0,00002 m²k/W**. Prácticamente nula.

Tabla 7.7. Morteros.

Morteros				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco o enlucido ⁽¹⁾⁽²⁾	$\rho > 2000$	1,80	1000	10
	$1800 < \rho \leq 2000$	1,30	1000	10
	$1600 < \rho \leq 1800$	1,00	1000	10
	$1450 < \rho \leq 1600$	0,80	1000	10
	$1250 < \rho \leq 1450$	0,70	1000	10
	$1000 < \rho \leq 1250$	0,55	1000	10
	$750 < \rho \leq 1000$	0,40	1000	10
	$500 < \rho \leq 750$	0,30	1000	10
Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita) ⁽²⁾	$\rho \leq 1000$	0,41	1000	10
Mortero de yeso	$\rho \leq 1600$	0,80	1000	6

⁽¹⁾ Para el mortero colocado "in situ" se considera una densidad de 1900 kg/m³

⁽²⁾ Los valores de diseño anotados corresponden a un percentil del 90% y provienen de los valores declarados obtenidos según la norma UNE EN 1745:2002 y corregidos según los criterios de la norma UNE EN 12524:2000, con factor de corrección de humedad. Fm. igual a 1.17.

$$R = \frac{0,10}{0,70} = 0,142$$

Resistencia térmica de **0,142 m²k/W** para la capa de mortero reguladora.

Tabla 7.8. Bituminosos.

Materiales bituminosos				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Asfalto	2100	0,70	1000	50000
Asfalto arenoso		0,15	1000	
Betún puro	1050	0,17	1000	50000
Betún fieltro o lámina	1100	0,23	1000	50000

$$R = \frac{0,01}{0,23} = 0,043$$

Resistencia térmica de **0,043 m²k/W** para la capa de impermeabilización.

7. Caracterización de los muros

Tabla 7.9. Materiales artificiales o suelos tratados.

Materiales artificiales o suelos tratados				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Arcilla cocida para piezas de albañilería ⁽¹⁾	2300 < ρ ≤ 2400	0,90	1000	10
	2200 < ρ ≤ 2300	0,85	1000	10
	2100 < ρ ≤ 2200	0,79	1000	10
	2000 < ρ ≤ 2100	0,74	1000	10
	1900 < ρ ≤ 2000	0,69	1000	10
	1800 < ρ ≤ 1900	0,64	1000	10
	1700 < ρ ≤ 1800	0,59	1000	10
	1600 < ρ ≤ 1700	0,55	1000	10
	1500 < ρ ≤ 1600	0,50	1000	10
	1400 < ρ ≤ 1500	0,46	1000	10
	1300 < ρ ≤ 1400	0,43	1000	10
	1200 < ρ ≤ 1300	0,39	1000	10
	1100 < ρ ≤ 1200	0,35	1000	10
	1000 < ρ ≤ 1100	0,32	1000	10
	ρ ≤ 1000	0,29	1000	10
Piedra artificial	ρ ≤ 1750	1,30	1000	40
Tierra apisonada, adobe, bloques de tierra comprimida	1770 ≤ ρ ≤ 2000	1,10	-	-

$$R = \frac{0,05}{1,30} = 0,038$$

Y por último, resistencia térmica de **0,038 m²k/W** para la piedra artificial exterior del muro.

Cogemos de nuevo la R_{si} y R_{se} de la tabla 7.1:

Cerramiento vertical con flujo horizontal → $R_{se}=0,04$ $R_{si}=0,13$

Para finalizar, calculamos la **resistencia térmica total del cerramiento** que viene dado por la expresión.

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}$$

$$R_T = 0,13 + 0,23 + 0,21 + 0,518 + 0,475 + 0,30 + 0,00002 + 0,142 + 0,043 + 0,038 + 0,04 = \mathbf{2,126 \text{ m}^2\text{k/W}}$$

7. Caracterización de los muros

La **transmitancia térmica** será:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{2,126} = 0,470 \text{ W/m}^2\text{K}$$

7. Caracterización de los muros

b) Muros en contacto con el terreno

La transmitancia térmica de los muros o pantallas en contacto con el terreno se obtendrá de la tabla E.5 en función de su profundidad z , y de la resistencia térmica del muro, calculada mediante la expresión:

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{SE}$$

Despreciando las resistencias térmicas superficiales.

$$R_m = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

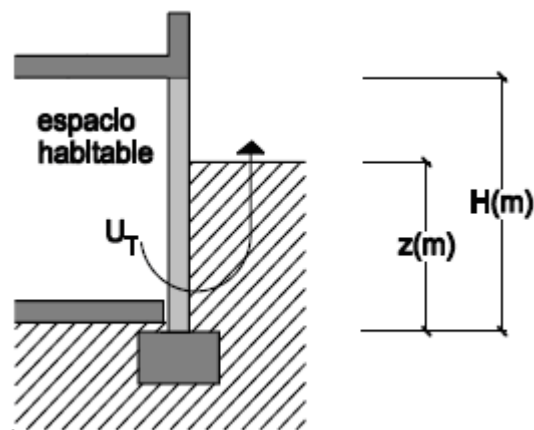


Figura 7.3. Muros en contacto con el terreno.

7. Caracterización de los muros

Cálculo:

$$R_m = 0,23 + 0,21 + 0,518 + 0,475 = \mathbf{1,433 \text{ m}^2\text{k/W.}}$$

Tabla 7.10. Transmitancia térmica de muros enterrados.

Rm (m ² K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Las partes en las que el muro del edificio a analizar está en contacto con el terreno, están enterradas 2m, interpolamos en la tabla E.5 del CTE (ver tabla 7.10).

El resultado final es una transmitancia térmica de **0,44 W/m²K.**

7. Caracterización de los muros

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.



Figura 7.4. Mapa de zonas climáticas.

Tabla 7.11. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica.

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

7. Caracterización de los muros

Tabla 7.12. Zona climática B3

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					$F_{Lim}: 0,30$					

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Valencia es zona B, en concreto B3, así que comprobaremos el resultado con la más restrictiva de las dos tablas.

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

Cumplen todos.



7.2. Análisis mediante cámara termográfica

Cualquier objeto cuya temperatura sea superior al cero absoluto (0 Kelvin = -273.15 °C) emite radiación infrarroja, invisible al ojo humano. Tal y como demostró el físico Max Planck allá por el año 1900, existe una correlación entre la temperatura de un cuerpo y la intensidad de la radiación infrarroja que emite.

Una cámara termográfica mide la onda larga de la radiación infrarroja recibida en el campo de visión, a partir de la cual calcula la temperatura del objeto a medir. El cálculo tiene en cuenta la emisividad (ϵ) de la superficie del objeto medido así como la compensación de la temperatura reflejada (RTC); estas dos variables se pueden ajustar manualmente en la cámara termográfica. Cada píxel del detector representa una marca térmica que se muestra en el visualizador como una imagen de color simulada.

La termografía (la medición de temperatura con una cámara termográfica) es un método de medición pasivo, sin contacto. La imagen termográfica muestra la distribución de temperatura en la superficie de un objeto, por lo que una cámara termográfica no se debe usar para “mirar” en el interior o a través de los objetos.

La radiación registrada por la cámara termográfica consiste en la radiación de onda larga emitida, reflejada y transmitida que surge de los objetos presentes en el campo de visión de la cámara.

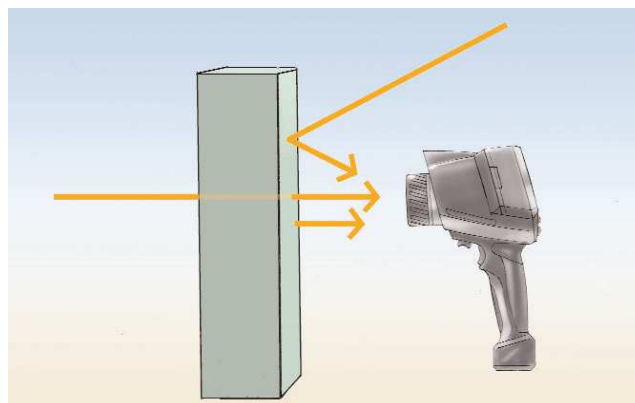


Figura 7.5. Emisión, reflexión, transmisión

7.2.1. Conceptos termográficos

La emisividad (ϵ) es la medida de la capacidad de un material de emitir (propagar) radiación infrarroja.

- Los metales, sobre todo aquellos con una superficie brillante, tienen una baja emisividad que fluctúa con la temperatura.
- La ϵ se puede configurar manualmente en la cámara.

La reflexión (ρ) es la medida de la capacidad de un objeto de reflejar la radiación infrarroja.

La transmisión (τ) es la medida de la capacidad de un material de transmitir (permitir el paso) de la radiación infrarroja.

- La τ depende del tipo y grosor del material.
- Muchos materiales son no transmisivos, es decir, impermeables a la radiación infrarroja de onda larga.

Ley de radiación de Kirchhoff's

La radiación infrarroja registrada por la cámara termográfica consiste en:

- la radiación emitida por el objeto medido;
- la reflexión de la radiación ambiente y
- la transmisión de radiación del objeto medido.

El resultado de la suma de estos factores es siempre 1 (100%): $\epsilon + \rho + \tau = 1$

Dado que en la práctica la transmisión juega un papel inapreciable, la variable τ se omite en la fórmula $\epsilon + \rho + \tau = 1$ que se simplifica a $\epsilon + \rho = 1$

En termografía, **esto quiere decir** que a menor emisividad, mayor proporción de radiación infrarroja reflejada, mayor dificultad en la toma de mediciones precisas de temperatura y mayor importancia adquiere la configuración correcta de la compensación de la temperatura reflejada (RTC).

7. Caracterización de los muros

7.2.2. Marca y distancia de medición

Se deben tener en cuenta tres variables para determinar la distancia de medición apropiada y el tamaño máximo del objeto a medir que es visible o medible:

- el ángulo de visión (FOV);
- el objeto identificable más pequeño (IFOV_{geo}) y
- el objeto medible/marca de medición más pequeña (IFOV_{meas}).

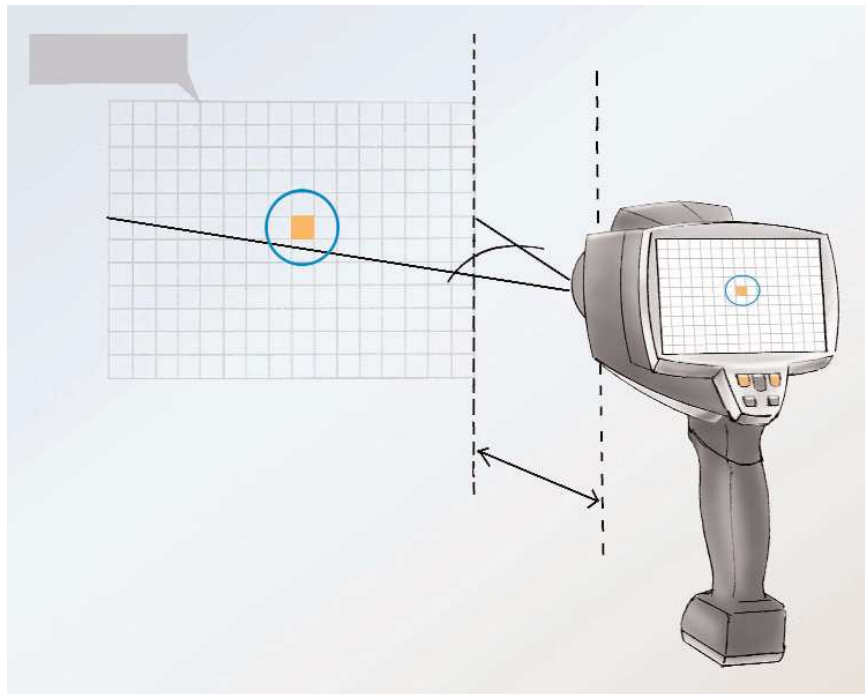
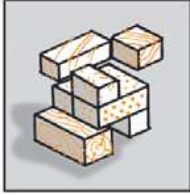


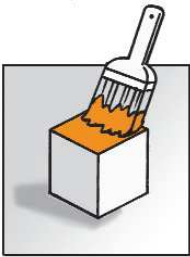
Figura 7.6. El ángulo de visión de la cámara termográfica.

7.2.3. El objeto medido y su entorno



Material y emisividad

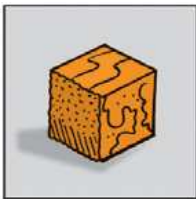
La superficie de cada material tiene una emisividad específica a partir de la cual se deriva la cantidad de radiación infrarroja emitida desde el material que se refleja y se emite (se radia desde el objeto mismo).



Color

El color de un material no tiene un efecto perceptible en la radiación infrarroja de onda larga emitida por el objeto del que se mide la temperatura con una cámara termográfica.

Las superficies oscuras absorben más radiación infrarroja de onda corta que las superficies claras y por tanto se calientan más rápidamente. No obstante, la radiación infrarroja emitida depende de la temperatura y no del color de la superficie del objeto a medir. Un radiador pintado en negro, por ejemplo, emite exactamente la misma cantidad de radiación infrarroja de onda larga que un radiador blanco a la misma temperatura.



La superficie del objeto a medir

Las propiedades de la superficie del objeto a medir tienen un papel capital en la medición de temperatura con una cámara termográfica, ya que la emisividad de la misma varía según su estructura, su recubrimiento o su pulcritud.

Estructura de la superficie

Por lo general, la emisividad en las superficies, lisas, brillantes, reflectantes y/o pulidas es más baja que en las mate, cuarteadas, rugosas, erosionadas y/o rayadas del mismo material. En superficies sumamente lisas ocurren a menudo reflejos especulares.

7. Caracterización de los muros

Humedad, nieve y escarcha en la superficie

El agua, la nieve y la escarcha tienen unas emisividades relativamente altas (aprox. $0.85 < \varepsilon < 0.96$), por lo que la medición de estas sustancias se realiza sin problemas normalmente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la temperatura del objeto a medir puede estar distorsionada si hay capas de este tipo. La humedad enfría la superficie del objeto al evaporarse, y la nieve tiene buenas propiedades aislantes. Habitualmente la escarcha no forma una capa aislante, por lo que se deben tener en cuenta las emisividades tanto de la escarcha como la de la superficie bajo ella cuando se efectúa la medición.

Suciedad y partículas en la superficie

La suciedad en la superficie del objeto a medir, como polvo, hollín o lubricante normalmente incrementa la emisividad en la misma, por lo que la medición en objetos manchados no presenta problemas en general. No obstante, la cámara termográfica siempre mide la temperatura de la superficie, es decir, la mugre, y no la temperatura exacta de la superficie del objeto que hay debajo.

[Testo, 2008]

7. Caracterización de los muros

7.2.4. Resultados de la 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, con una resolución en temperatura < 80 mK y Objetivo angular de $32^\circ \times 23^\circ$.

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.

Las fotografías han sido realizadas la primera semana de Junio, eran necesarios días calurosos para que se apreciara mejor la diferencia de temperaturas del interior y exterior. Empezando desde la fachada Sur hacia el oeste, se han realizado imágenes de las partes no enterradas ni medianeras. A continuación se analizarán algunas de esas fotos para explicar como están funcionando térmicamente cada una de las fachadas y sus aberturas en contacto con el aire exterior.

Para comenzar se debe aclarar, que cada uno de los colores de la gama cromática plasmados en la fotografía representan una temperatura, pero no hay un color fijo asociado a una temperatura en concreto. En cada fotografía los colores varían en función de la temperatura, dentro del rango que se expone en la figura 7.7.

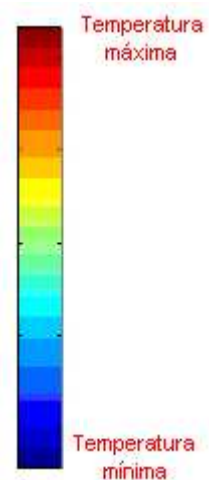


Figura 7.7. Gama de colores.

7. Caracterización de los muros

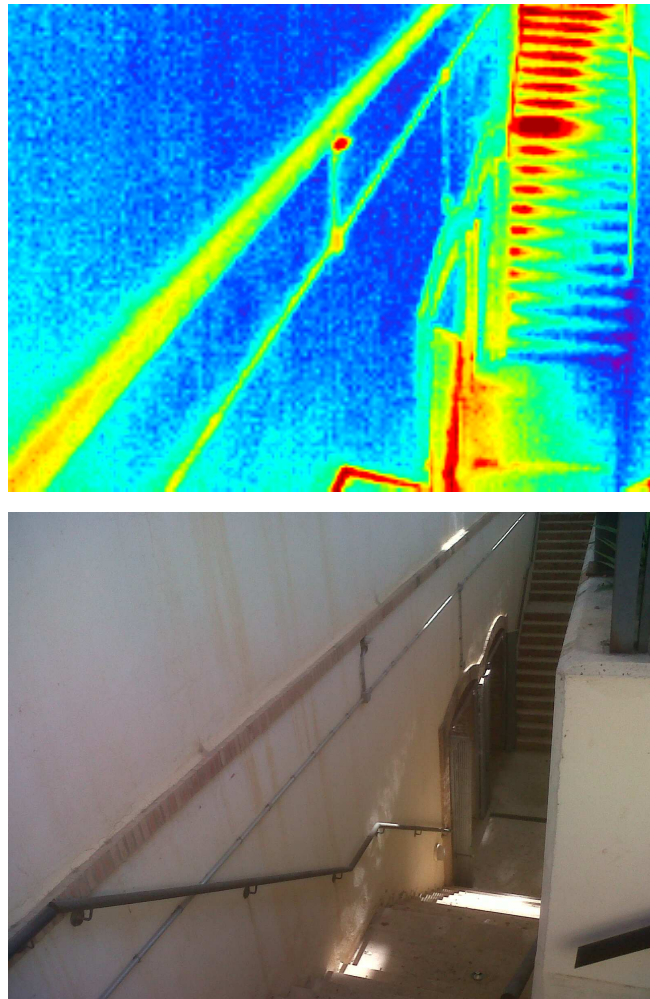


Figura 7.8. Patio de la fachada Sur

En esta imagen se muestra la puerta trasera del patio de la fachada sur y las escaleras que llevan a cota cero. No se puede apreciar ningún tipo de puente térmico o pérdidas de frío porque a esta parte de la fachada le esta dando sombra y esta fría, no existe una gran diferencia de temperatura con el interior. De hecho los colores rojizos que se aprecian en la parte de las escaleras se deben a que le está dando sol y la línea amarillenta que marca altura de forjado está más caliente porque está construido con ladrillos caravista que tienen la característica de mantener más el calor que la pintura del paramento.

7. Caracterización de los muros

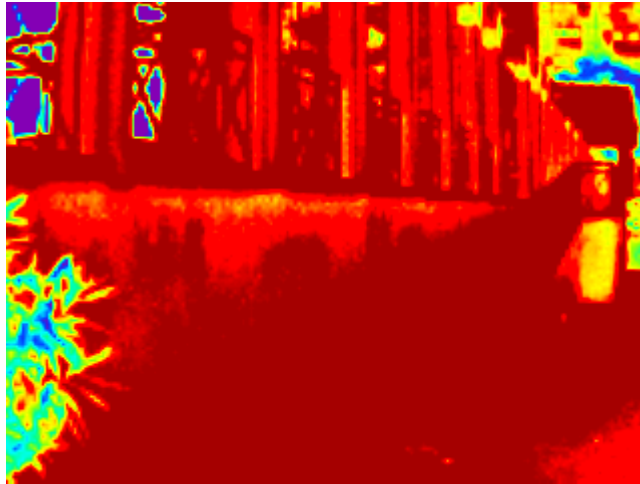


Figura 7.9. Fachada Sur (2).

Esta parte de la fachada esta situada a unos 10m aproximadamente hacia el oeste de la fotografía anterior. No existen puertas ni ventanas y no tiene ninguna patología que provoque perdida de frío del interior.

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

7. Caracterización de los muros

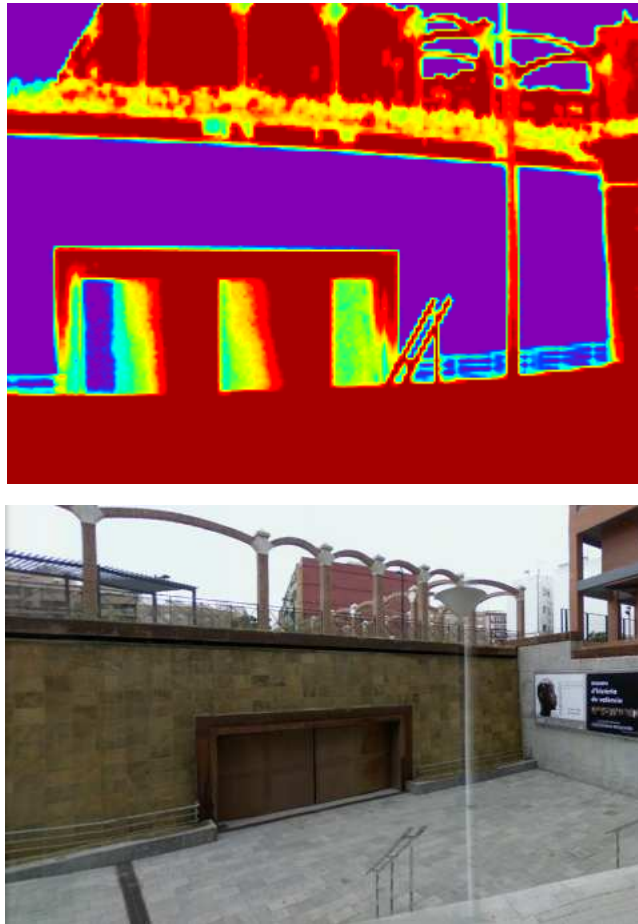


Figura 7.10. Fachada Norte.

La figura 7.10 corresponde a la fachada principal del museo. La zona morada de la fachada significa que la temperatura es baja, esto se debe a que la zona de muro de alrededor de la puerta tiene un sistema instalado que vierte agua desde la cornisa y se desliza por el aplacado de piedra para ser recogida abajo por unos canales. Tiene un circuito cerrado, es decir, el agua recogida se filtra y bombea para ser vertida de nuevo. Esta instalación solo esta activa en horario de abertura del museo.

También se aprecian tonalidades moradas en el interior de la puerta, que se comentan en la siguiente imagen.

7. Caracterización de los muros

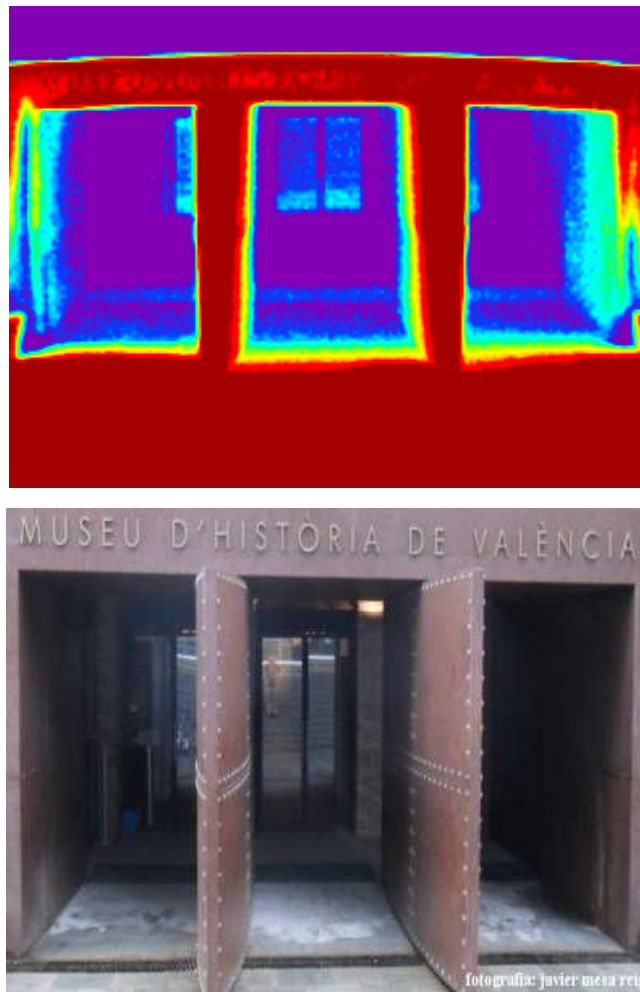


Figura 7.11. Puerta principal.

Esta fotografía pertenece a la puerta principal del museo y es el lugar por donde se pierde la mayor parte del frío que generan los climatizadores. El gran marco de la puerta, al igual que el suelo, tiene tonos rojizos porque tienen la temperatura más alta, están en contacto directo con el aire exterior en un día de verano. 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.

Esto se debe a que las particiones y puertas que separan el vestíbulo de la sala del museo están frías, están resueltas con cristal de poca capacidad aislante que además tienen un gran porcentaje de puentes térmicos. El frío se está "escapando" por las ranuras superiores, inferiores y laterales de cada una de las puertas, reflejándose en la imagen con un difuminado que cambia de color morado al azul.

7. Caracterización de los muros

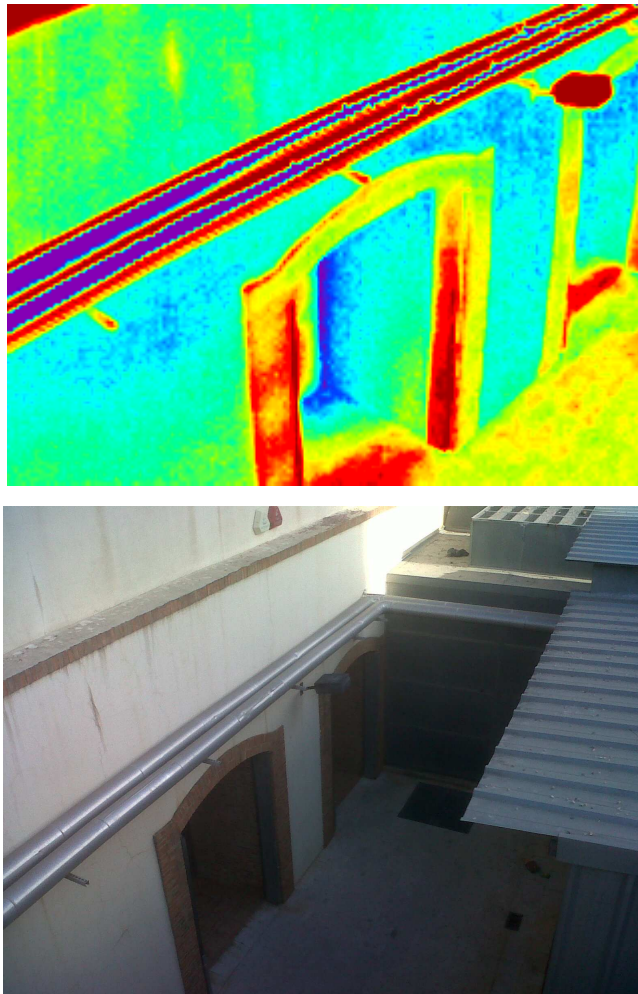


Figura 7.12. Fachada Este.

Y por último la fachada Este, al igual que la figura 7.8 el paramento de la fachada de esta imagen está más frío por la sombra que las marcas de forjado, jambas y dinteles que están hechos de otro material capaz de mantenerse más caliente.

Pero se pueden observar 2 zonas frías de color morado. Una corresponde a una especie de líneas que colorean los tubos de alguna instalación. Estos tubos pertenecen a la instalación de aire acondicionado interior del museo. Y la otra zona colorea el contorno de la puerta del patio, lo que significa que existen pérdidas de frío por las ranuras, una manifestación patológica que indica que la puerta no es estanca y que existen puentes térmicos.

8. SIMULACIÓN ENERGÉTICA

8.1. El software Design Builder

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**. A pesar de esta diferenciación en módulos, el entorno del programa es común, y las entradas de datos se comparten entre las diferentes herramientas de cálculo evitando duplicidades en la modelización.

Actualmente existen los módulos de Visualización, Energyplus, CFD, Iluminación Natural y HVAC Detallado que ofrecen al usuario variedad de funcionalidades.

Existen dos elementos transversales al modelado en DesignBuilder de gran interés e importancia práctica: las **bibliotecas de componentes y de plantillas**. Los componentes y plantillas permiten agilizar enormemente la definición de los modelos, al contar con elementos ya predefinidos que podemos cargar de una sola vez en el programa (plantillas de cerramientos, horarios de ocupación, curvas de rendimiento, etc.). No obstante, siempre podremos crear nuestras propias plantillas y componentes específicos que nos faciliten en futuros modelos la introducción de datos, ahorrando un valioso tiempo especialmente si trabajamos sobre tipologías similares de edificios.

8. Simulación energética

8.1.1 Modelado

A continuación se recogen las posibilidades de DesignBuilder en cuanto a modelado se refiere:

Modelado geométrico:

- Modelado tridimensional mediante operaciones de extrusión, corte, unión, referencias a puntos, etc.
- Importación de planos 2D en dxf con referencias a puntos o de planos gráficos (jpg, pdf, etc), como base para el trazado del modelo.
- Importación de modelos desde software BIM (Revit y Archicad) mediante el formato de intercambio gbxml.

Modelado de envolvente térmica:

- Definición de cerramientos simple (masa térmica/aislamiento) o por capas, incluyendo la base de datos de materiales del Código Técnico de la Edificación.
- Definición de una cubierta vegetal para su simulación.
- Definición del acristalamiento simple (factor solar y transmitancia) o detallado por capas, incluyendo la base de datos IGDB con más de 3.800 vidrios de los principales fabricantes de todo el mundo.
- Definición detallada de la carpintería: composición, dimensiones de marcos, travesaños, etc.
- Definición paramétrica de lamas, persianas, voladizos, vidrio electrocrómico, etc. así como su estrategia de control en función de un horario, de niveles de radiación, temperaturas, etc.
- Definición de la calidad de los cerramientos con respecto a infiltraciones o bien la tasa de renovaciones hora por infiltración o bien los datos de un ensayo blower door, dependiendo del tipo de análisis.
- En caso de análisis detallados de ventilación natural, deberemos definir las condiciones de apertura de ventanas y puertas para que el programa calcule los caudales de ventilación natural en el edificio.

8. Simulación energética

Modelado del uso de cada zona:

- Definición de la ocupación y tasa metabólica de las personas, junto con sus horarios.
- Definición de las consignas a mantener en cada zona para controlar la calefacción, la refrigeración, posible ventilación natural, mecánica, deshumidificación.
- Definición de las cargas internas, equipos informáticos, de cocina, etc. y sus horarios.

Modelado de las instalaciones de iluminación:

- Definición de la potencia por superficie y la iluminancia de cada zona del edificio para la simulación de los controles de iluminación artificial en función de sensores de luz natural.
- Definición del tipo de control de la iluminación, la posición del sensor y el área a la que afecta.

Modelado de las instalaciones térmicas:

El modelado de las instalaciones de climatización y ACS puede realizarse en tres niveles de complejidad:

1. Simple: mediante un sistema ideal y rendimientos medios estacionales.
2. Compacto: mediante 5 tipologías de instalaciones complejas para las que el programa solicita una serie de datos básicos y Energyplus completa la definición con valores por defecto de manera automática:
 - Sistemas Autónomos Zona Única o Multizona todo aire con baterías de frío/calor, recuperación de calor, enfriamiento gratuito, deshumidificación, etc.
 - Fancoils: a 2 o 4 tubos.
 - Volumen de Aire Variable ó Constante: con recuperación de calor, enfriamiento gratuito, recalentamiento terminal, etc.
3. Detallado: mediante un modelado gráfico de tipo "arrastrar y soltar" y la interconexión entre sistemas es posible definir un abanico muy amplio de instalaciones, contando con elementos como:
 - Sistemas zonales: Radiadores de agua y eléctricos, convectores, suelo radiante, techos refrescantes, fancoils, splits, impulsión y extracción, unidades terminales VAV, etc.

8. Simulación energética

- Distribución de Aire: climatizadoras de aire primario, Unidades de Tratamiento de Aire (con baterías de precalentamiento, humidificación, recuperación de calor, etc), baterías de expansión directa o alimentadas por enfriadora o caldera, bombas, ventiladores, etc.
- Sistemas primarios: enfriadoras aire-aire o alimentadas por torre y calderas, individuales o en cascada con fraccionamiento de carga, depósito de ACS autónomo o alimentado por caldera, etc.

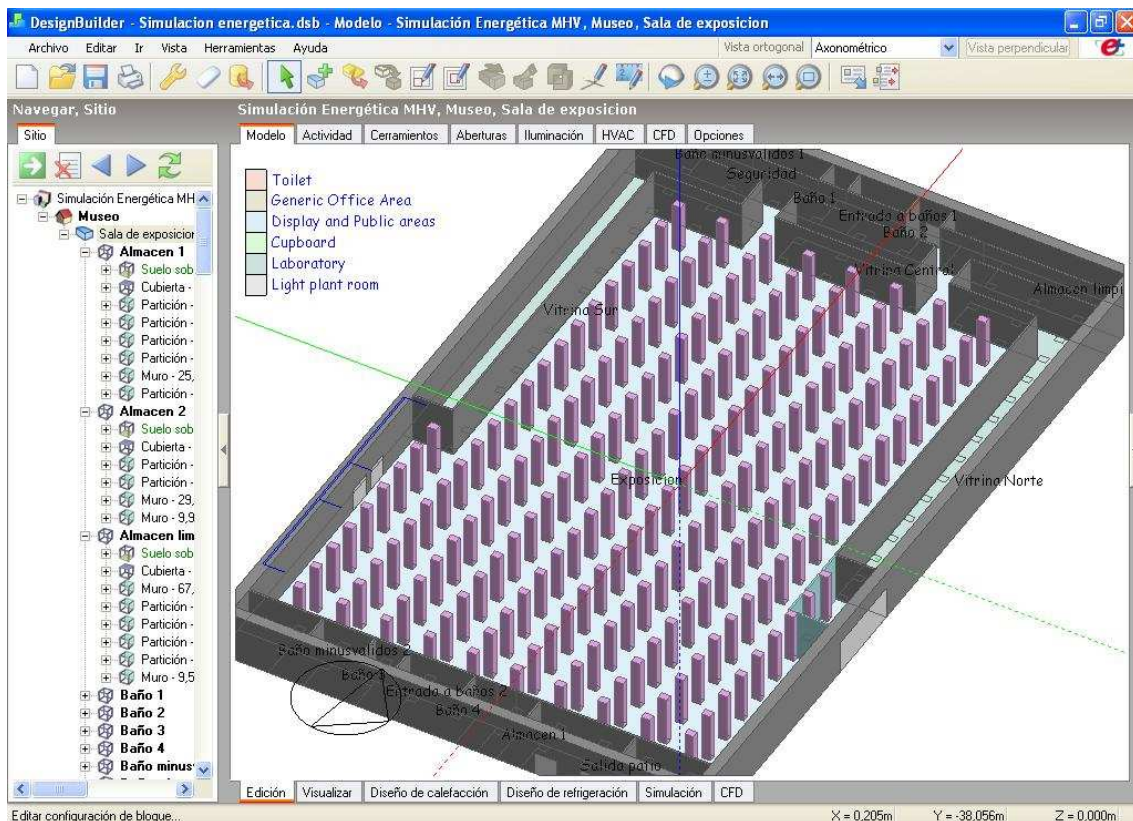


Figura 8.1. Visualización del museo en Design Builder.

8.1.2. Visualización

El módulo de visualización en DesignBuilder tiene dos propósitos (en la figura 8.1 puede verse la visualización del edificio estudiado):

- Ofrecer una representación visual atractiva del modelo geométrico del edificio mediante un renderizado realista y vistoso.
- Realizar visualizaciones del efecto de los elementos de sombreado en distintos instantes del año, de cara a validar una estrategia de protección solar o el diseño de un dispositivo de sombra.

8.1.3. Motores de simulación

Energyplus

DesignBuilder 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. Con cada nueva versión se implementan nuevas funcionalidades situando al motor como referencia internacional en capacidad de simulación. Es un motor de simulación gratuito, sin embargo, su complejidad radica en la entrada de datos, está pensado para que se desarrollen en torno al mismo aplicaciones gráficas y manejables que aprovechen su potencia de cálculo, aplicaciones como DesignBuilder, la primera y más completa del mercado.

Entre otras, las funcionalidades que DesignBuilder proporciona a través de la simulación mediante Energyplus son las siguientes:

- Cálculo de cargas: DesignBuilder implementa de forma específica el cálculo de cargas máximas de calefacción y refrigeración conforme al estándar ASHRAE. Esta funcionalidad es especialmente interesante de cara al dimensionado de las instalaciones llevado a cabo desde las ingenierías.
- Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración: Mediante una opción sencilla del programa, es posible calcular la demanda de forma ágil durante las primeras etapas del diseño o orientado a la mejora del diseño bioclimático del edificio, sin entrar a modelar en detalle las instalaciones de climatización.
- Cálculo de los consumos de calefacción, refrigeración y ACS y de las emisiones de CO₂: Introduciendo las instalaciones, que pueden modelizarse en diferentes niveles de detalle y complejidad, obtenemos los consumos energéticos y el gasto en combustible (electricidad, gas, biomasa, etc.) así como las emisiones de CO₂ asociadas.

8. Simulación energética

- Cálculo de las condiciones ambientales interiores: Esté climatizado o no, obtenemos resultados de las condiciones interiores del edificio, temperatura y humedad, en cualquier instante del año.
- Cálculo de las condiciones de confort: Mediante diversos índices de confort, como el PMV, PPD, la temperatura operativa o el porcentaje de horas a determinadas temperaturas, incorporados dentro de los resultados que DesignBuilder puede mostrarnos.
- Balance Térmico: DesignBuilder nos mostrará las ganancias solares, por ocupación, iluminación, etc. así como las pérdidas en ventilación, transmisión de cerramientos, etc. dándonos valiosa información acerca de los elementos más críticos en el balance térmico de nuestro edificio.
- Ventilación: Podremos obtener las renovaciones/hora que tenemos en el edificio así como los caudales que entran por cada abertura, en caso de que hayamos realizado un cálculo de Ventilación Natural.
- Informes tipo: Es posible generar los informes resumen de Energyplus desde DesignBuilder. Estos informes agrupan mucha información relativa al modelo y los resultados y se utilizan habitualmente como justificación en certificaciones como LEED.

DBSim

DBSim (en fase beta) es un motor de simulación desarrollado por DesignBuilder que puede seleccionarse como alternativa al cálculo mediante Energyplus. Sin tanta potencia como Energyplus, su principal ventaja radica en la rapidez en el cálculo, permitiendo realizar análisis muy rápidos en edificios de gran complejidad. Está pensado para las primeras etapas de diseño o para cálculos de demanda donde no sea necesario modelizar las instalaciones en detalle. La variedad de resultados (consumos, emisiones, temperaturas, etc.) es equivalente a los obtenidos desde Energyplus.

8. Simulación energética

Radiance

DesignBuilder aprovecha la definición geométrica de nuestro edificio, junto con las características superficiales de los cerramientos ya definidas, para alimentar al motor de simulación de iluminación natural Radiance.

Radiance es un estándar reconocido internacionalmente para la simulación de iluminación natural basado en Raytracing. Mediante Radiance y de nuevo de forma totalmente transparente al usuario, DesignBuilder es capaz de calcular y generar gráficas de iluminancias y Factor de Luz Día e informes resumen de accesibilidad a la luz natural de nuestro edificio.

Esta funcionalidad permite, por un lado, servir de ayuda al diseño de estrategias encaminadas al aprovechamiento de la luz natural, y por otro, justificar diversas certificaciones como LEED o BREEAM con los informes automáticos generados por DesignBuilder.

CFD

El módulo de CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) de DesignBuilder es un módulo que aprovecha la geometría de nuestro modelo para realizar simulaciones de flujos de aire y calor tanto en el exterior como en el interior de los edificios.

A diferencia de la simulación con Energyplus, donde se trabaja con valores homogéneos para cada zona térmica, la simulación CFD divide el espacio en pequeños volúmenes para los que se calculan las condiciones del aire (temperatura, velocidad y presión) en régimen estacionario en función de las condiciones de contorno que hayamos establecido (caudales que entran por las ventanas, temperaturas de los cerramientos, etc.).

El módulo CFD no calcula consumos energéticos sino la distribución espacial de presiones y velocidades en el exterior de nuestro edificio (análisis de viento) y de presiones, velocidades y temperaturas en el interior (análisis de flujos de aire y calor).

Su interrelación con el resto del interface de DesignBuilder se da de la siguiente manera. Por un lado aprovechamos la geometría que hayamos definido en nuestro modelo y por otro, podemos utilizar los resultados de una simulación de Energyplus para cargar de forma automática los caudales de aire en las aberturas o las temperaturas de los diferentes cerramientos.

8. Simulación energética

De manera específica, en el CFD deberemos dibujar elementos como radiadores, rejillas de impulsión, o personas, para configurar el espacio 3D para la simulación CFD, dado que dichos elementos no se modelizan con sus dimensiones y ubicación física real para las simulaciones en Energyplus.

Adicionalmente a presiones, velocidades o temperaturas de aire, el CFD de DesignBuilder calcula la distribución espacial de los índices de confort (temperatura operativa, PMV, PPD), así como la antigüedad o la tasa de renovación efectiva del aire.

El CFD de DesignBuilder representa dos ventajas principales con respecto a otros motores CFD:

- Su facilidad de uso. Se ha orientado exclusivamente a edificación, simplificando en gran medida la entrada de datos con respecto a motores más generales. Teniendo la geometría ya definida en DesignBuilder, lanzar la simulación CFD puede llevar tan sólo unos minutos.
- Su capacidad de importar las condiciones de contorno (flujos de aire a través de aberturas y temperatura de cerramientos) desde los resultados de una simulación con Energyplus.

8.1.4. Exportación

Además de la exportación en formato gráfico de resultados e imágenes generadas en DesignBuilder así como de los resultados numéricos a Excel, es posible exportar el modelo generado en los siguientes formatos:

DXF 3D

Permitiendo la visualización en otros entornos gráficos, como Sketchup.

Modelos exportados a Sketchup y completados (árboles, vehículos, farolas...).

LIDER (CTE)

Facilitando la justificación de la opción general del HE1 del Código Técnico de la Edificación así como la Certificación Energética mediante Calener.

Modelo de DesignBuilder exportado a Lider/Calener VYP.

8.2. Modelado y simulación del estado actual del Museo de Historia de Valencia

Para este proyecto y con el objetivo de estudiar posibles soluciones que mejoren la eficiencia energética en el Museo de Historia de Valencia se ha utilizado el software Desing Builder y se ha modelado por completo el Museo.

Para ello, se comienza situando y orientando el edificio. El programa cuenta con una extensa base de datos en los que la situación es una de las variables de cálculo y como ya hemos dicho antes, está situado en la ciudad de Valencia con una orientación de 5º nord-oeste respecto del norte.

Seguidamente se diseña el edificio en 3D. Se levantará cada una de las fachadas, particiones interiores y elementos constructivos de la estructura con sus respectivos huecos, tanto exteriores como interiores, aplicando correctamente las dimensiones de cada uno de estos elementos (ver Figura 8.1).

Además como el programa simula también la radiación solar se han insertado como bloques de componente los edificios cercanos o medianeros que podrían dar horas de sombra a nuestro edificio, cada uno con su correspondiente altura (ver Figura 8.2).

8. Simulación energética

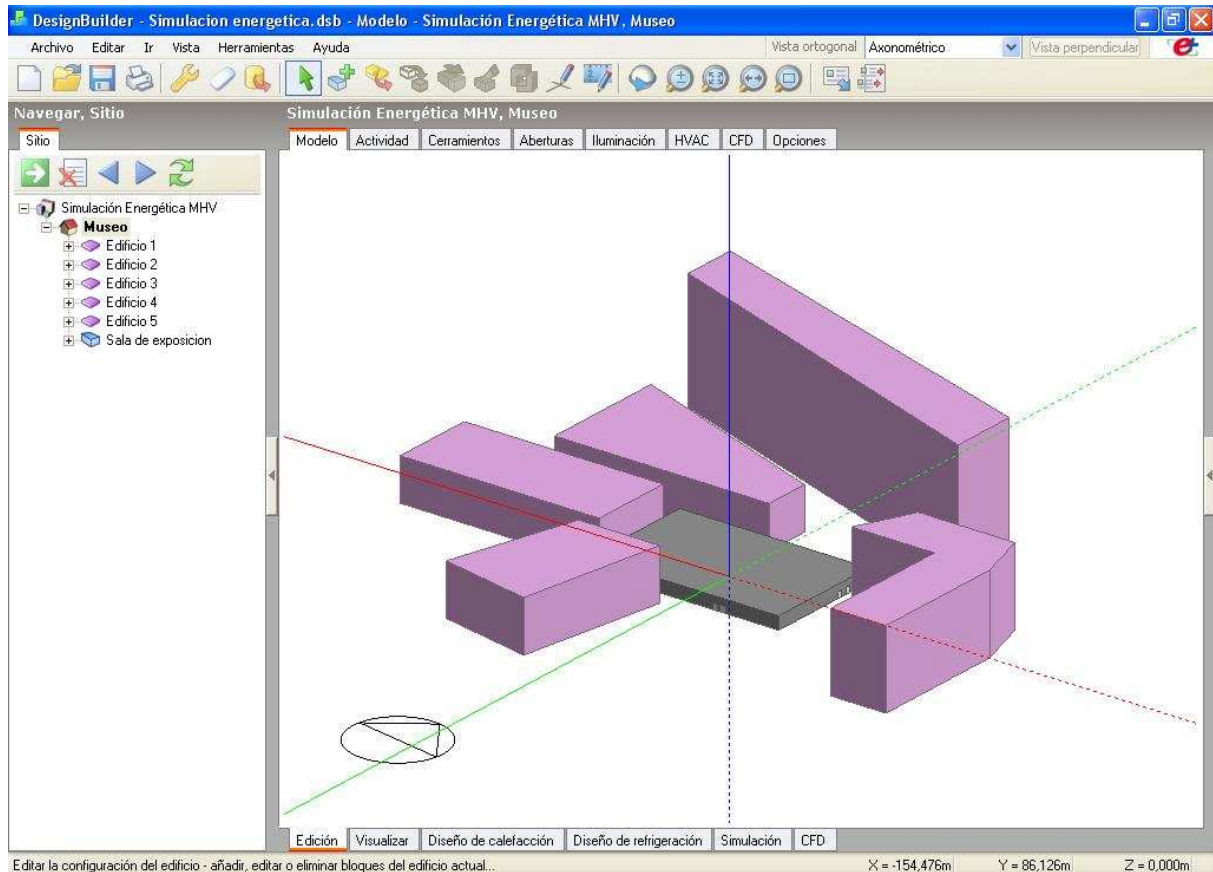


Figura 8.2. Bloques de los edificios cercanos.

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.

8. Simulación energética

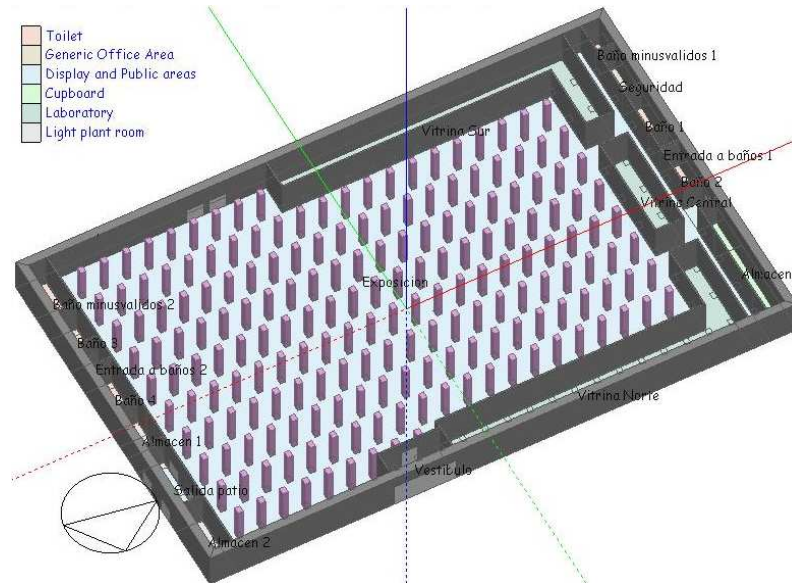


Figura 8.3. Zonificación del museo.

De las diferentes opciones de plantilla de actividad que ofrece el software, se ha seleccionado la plantilla de Librerías/Museos/Galerías. Esta plantilla tiene por defecto unos valores marcados respecto a la ocupación, el consumo de ACS, configuración de la climatización, ventilación, iluminación, uso de equipos de oficina, etc. Así que se han modificado todos aquellos parámetros para adecuarlos a los que realmente tiene el museo. Por ejemplo, se ha seleccionado que la calefacción/refrigeración utiliza la electricidad como fuente de energía, no existe gas para el ACS, la iluminación es tenue para evitar el desgaste de los documentos históricos y muchos más detalles particulares para cada zona del museo.

Respecto al tipo de particiones, se han seleccionado de la base de datos algunas normalizadas. Los cerramientos exteriores, dado que se trata de muros históricos reformados y peculiares, se han tenido que crear uno por uno, especificando para cada capa el material, espesor y disposición. Como ya se ha comentado anteriormente, Desing Builder cuenta con una amplia base de datos de distintos materiales con sus respectivas características y propiedades.

8. Simulación energética

Superficie interior	
Coefficiente de transferencia convectiva de cal...	2,152
Coefficiente de transferencia radiativa de calor (...)	5,540
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0,130
Superficie exterior	
Coefficiente de transferencia convectiva de cal...	19,870
Coefficiente de transferencia radiativa de calor (...)	5,130
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0,040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0,511
Valor R (m ² -K/W)	2,128
Valor U (W/m²-K)	0,470
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
K-m - capacidad de calor interna (KJ/m ² -K)	62,0000
Límite superior de resistencia (m ² -K/W)	2,128
Límite inferior de resistencia (m ² -K/W)	2,128
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0,511
Valor R (m ² -K/W)	2,128
Valor U (W/m²-K)	0,470

Figura 8.4. Propiedades del muro de la fachada principal.

En la figura 8.4 se muestran los resultados de valores de transmitancia de la fachada principal, que como se puede observar, coinciden con los que se han calculado según el CTE en el apartado 7.1.

Y por último con el diseño terminado y todas las variables modificadas tal y como están en el edificio real, se ha simulado. Se ponen en marcha los motores de simulación de los que hemos hablado en el apartado anterior para obtener datos de un año completo y al acabar se extraen las gráficas y datos que nos interesan para analizar y mejorar posteriormente la eficiencia energética del Museo de historia de Valencia.

Resultados

Se han exportado a formato JPEG las gráficas y tablas resultantes de la simulación del museo interesantes para analizar el comportamiento térmico y la eficiencia energética del mismo. Para ello, se han extraído 4 tipos diferentes de gráficas y tablas que comentaremos a continuación:

8. Simulación energética

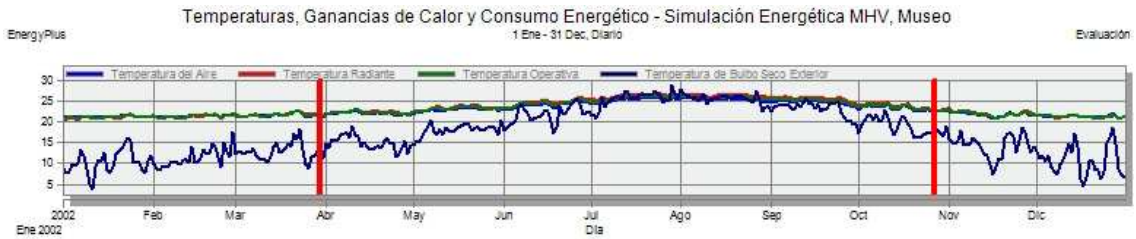


Figura 8.5. Gráfico de temperaturas diarias del Museo.

La figura 8.5 muestra las temperaturas exteriores al museo a lo largo del 2012 en azul oscuro y las interiores en verde, rojo y azul con líneas casi superpuestas (temperatura operativa, temperatura radiante y temperatura del aire respectivamente), separando la época invernal de la estival. Para trabajar mejor, como todas siguen el mismo recorrido llamaremos al conjunto de temperaturas interiores, temperatura interior.

De enero a abril, la temperatura interior esta rondando los 21°, una temperatura que como ya se ha dicho con anterioridad en el capítulo 4, es una temperatura confortable en invierno.

De abril a junio la temperatura sube entre los 22° y 25°, estos valores aun están dentro del confort en verano, pero de julio a septiembre sobrepasan los 25°, que es demasiado calor.

En octubre, la temperatura vuelve a bajar a de 25° a 22° y en noviembre y diciembre las temperaturas vuelven a mantenerse alrededor de los 21°, un rango de temperaturas confortable en esa época.

8. Simulación energética

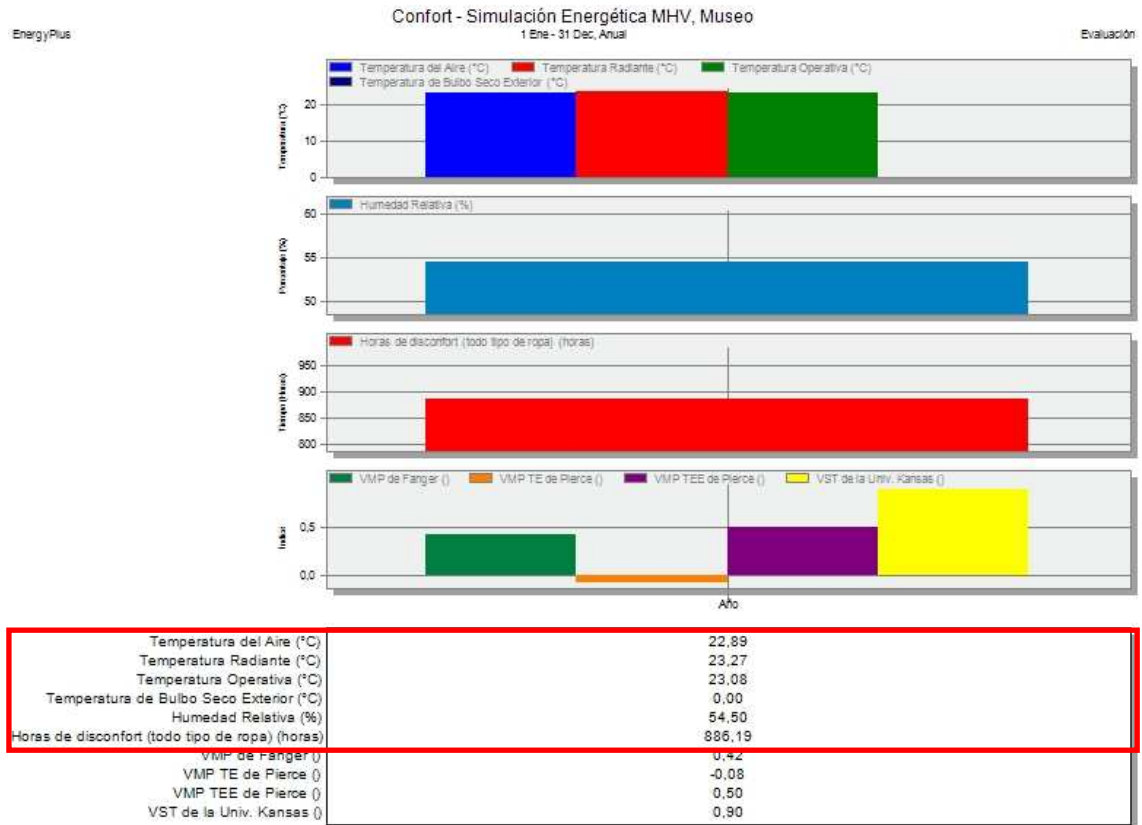


Figura 8.6. Gráfico de confort anual.

Como se indica en la figura 8.6 la temperatura media anual interior del museo ha sido de 23°, ha tenido una humedad relativa de 54,5% y un total de 886,19 horas de desconfort.

8. Simulación energética

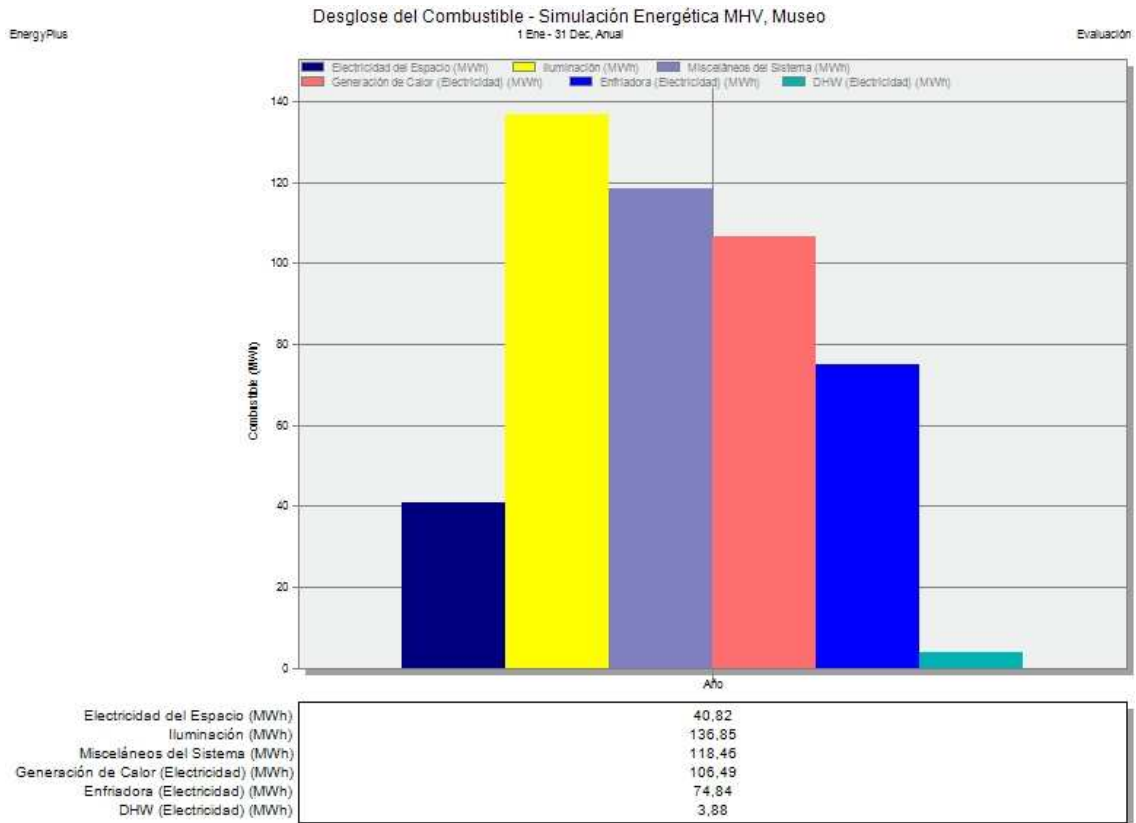


Figura 8.7. Gráfico de consumo de combustibles anual.

En la figura 8.7 se indican los consumos de electricidad de todas las máquinas audiovisuales, iluminación y aparatos de climatización del museo a lo largo del año. La iluminación es la que más consumo eléctrico marca, puesto que la luz en horarios de apertura del museo siempre está encendida, además se utilizan unas bombillas especiales para no degradar documentos de papel históricos que consumen más de lo normal. Lo siguiente son los misceláneos del sistema, esto se debe a que el museo tiene a lo largo de la sala, computadoras y máquinas que enseñan historia virtualmente a los visitantes, que se han tenido en cuenta para el cálculo y que están a todas horas en funcionamiento. Y por último y más importante, el gasto eléctrico de la climatización lo dividen en refrigeración y calefacción. Puesto que en el museo los aparatos de climatización son los que se encargan de enfriar temperaturas y generar calor, los valores de estos dos consumos se han sumado con un total de 180 MWh transformándose así en la actividad que más consume.

8. Simulación energética

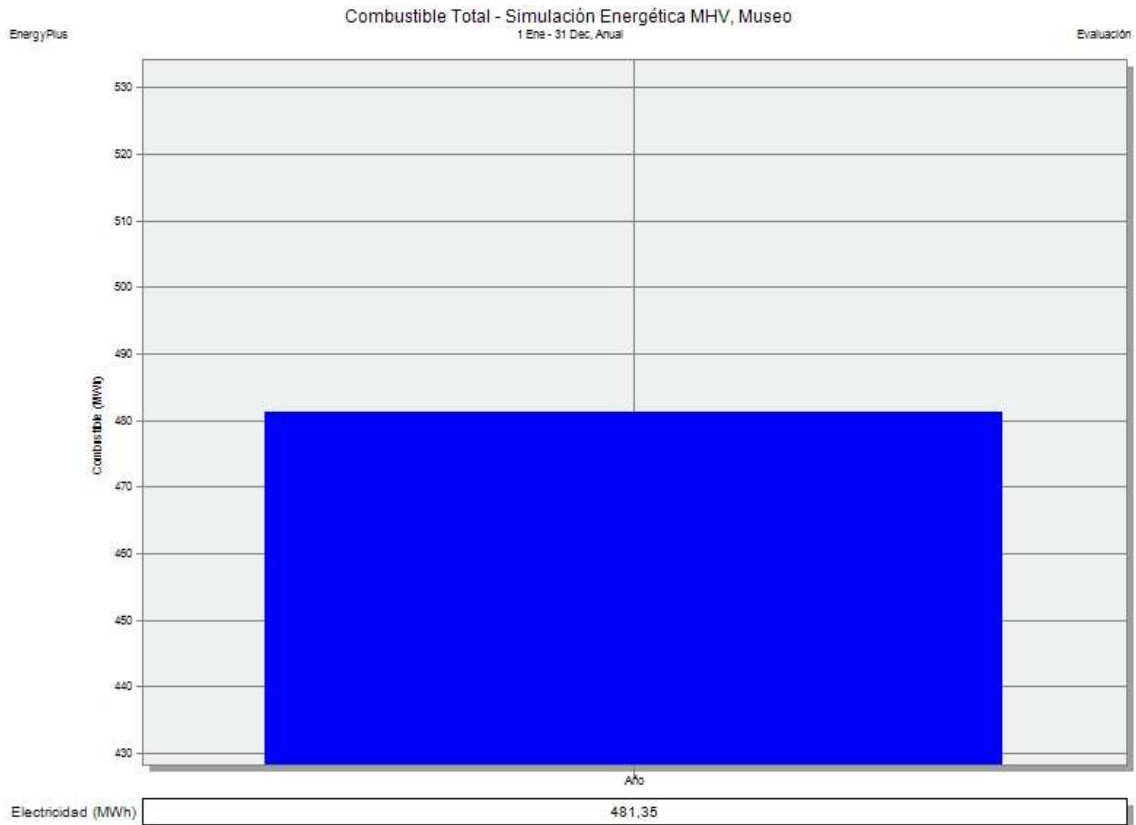


Figura 8.8. Gráfico de consumo de combustibles total anual.

Para terminar la figura 8.8 indica el consumo total de electricidad del museo en un año: **481,35 MWh**.

En conclusión se puede decir, que debido a que es un edificio histórico con muros de gran grosor y pocos huecos, se comporta muy bien térmicamente en invierno y se pasa un poco de calor en verano cuando las temperaturas superan los 25°.

En el siguiente apartado se realizarán una serie de simulaciones con la intención de mejorar el comportamiento en verano, y si es posible, reducir el consumo eléctrico.

8.3. Análisis y comparación de los resultados de las simulaciones

Una vez analizados los datos de la simulación del edificio en su estado actual, y concluido que se comporta muy bien térmicamente en invierno y que existen horas de desconfort en verano por la subida de temperaturas, lo primero que se ha de solucionar es la reducción del valor de esas temperaturas.

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.

1º Simulación

Los aparatos de climatización del museo están configurados de la siguiente forma:

Calefacción 22° → Retroceso 20°

Refrigeración 25° → Retroceso 28°

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, dando prioridad al estado de confort en el interior del edificio, el objetivo de la simulación será reducir las temperaturas en verano al menor coste e intentando reformar lo menos posible.

Para ello se ha realizado el siguiente cambio en la configuración de la refrigeración de los aparatos:

Refrigeración 24° → Retroceso 26°

8. Simulación energética



Figura 8.9. Gráfico de temperaturas diarias de la 1ª simulación.

La figura 8.9 nos indica que los resultados siguen siendo temperaturas demasiado altas, las temperaturas interiores en julio y agosto están alrededor de 26° y 27°, se sitúan fuera del rango de temperaturas confortables.

2ª Simulación

Como en la primera simulación no se ha conseguido el objetivo por poco, se ha realizado una segunda simulación reduciendo la temperatura 1° en la configuración de los aparatos.

Quedando de la siguiente manera:

Refrigeración 23° → Retroceso 25°



Figura 8.10. Gráfico de temperaturas diarias de la 2ª simulación.

Esta vez, las temperaturas interiores rondan los 25° en agosto y se considera una temperatura confortable en el mes más caluroso del año.

8. Simulación energética

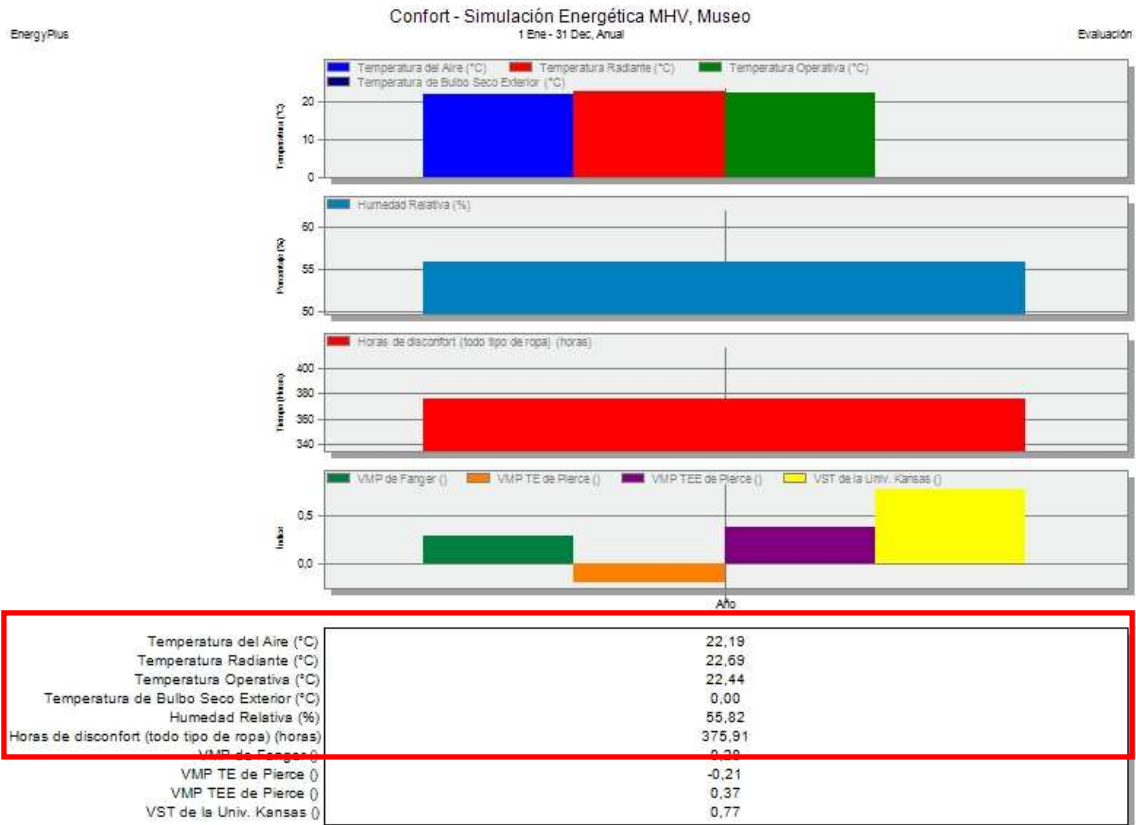


Figura 8.11. Gráfico de confort anual de la 2ª simulación.

La temperatura media anual se reduce un 1°, la humedad relativa se mantiene en 55% y **las horas de desconfort se reducen un 60% (de 886h a 375h)** respecto a la simulación del edificio real (ver figura 8.6), cumpliendo de tal modo el objetivo de mejorar el confort.

Pero para reducir las temperaturas los aparatos de climatización han trabajado más y **el consumo de los mismos se ha incrementado** como se puede apreciar en las figuras 8.12 y 8.13. Los valores de calefacción han subido de 105 a 112 MWh y los de refrigeración de 75 a 114 MWh.

8. Simulación energética

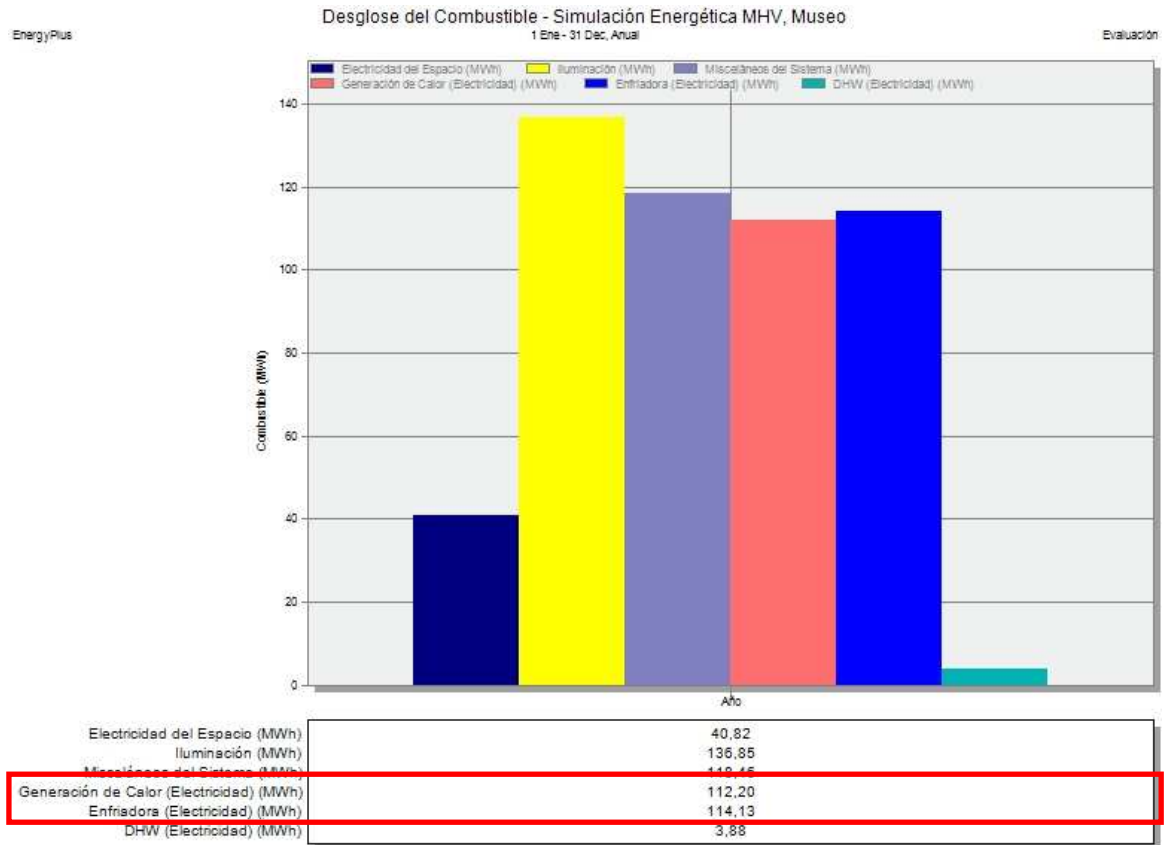


Figura 8.12. Gráfico de consumo de combustibles anual de la 2ª simulación.

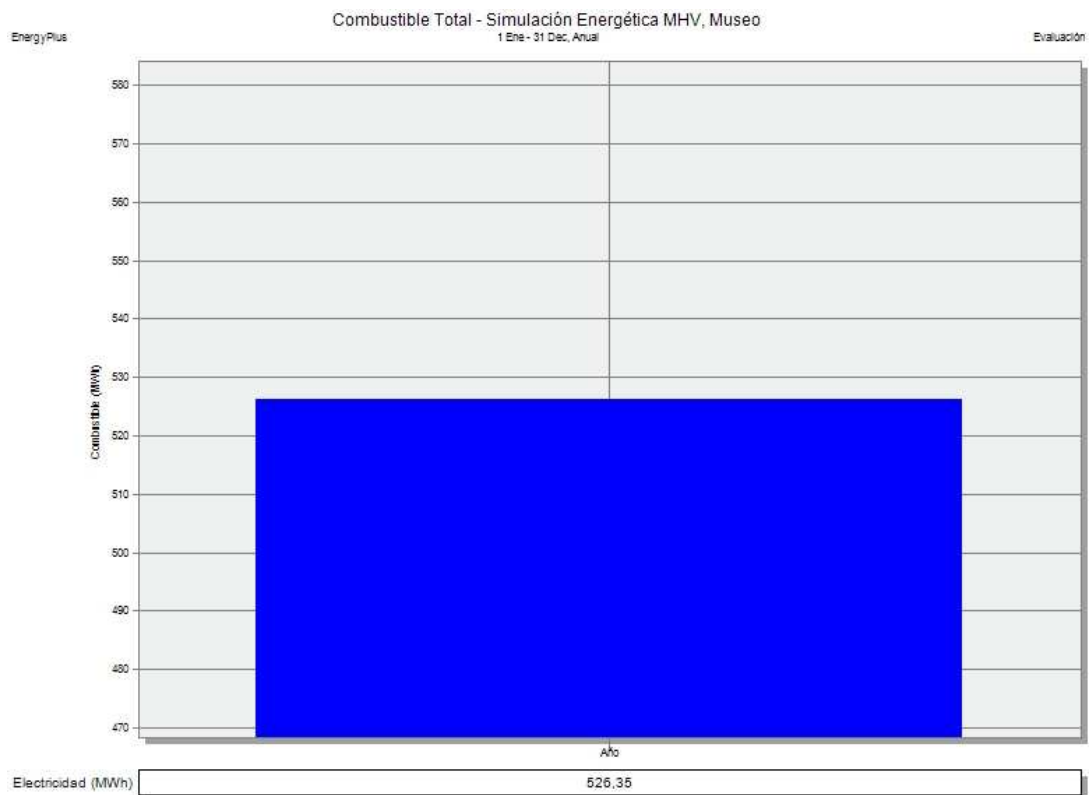


Figura 8.13. Gráfico de consumo de combustibles total anual de la 2ª simulación.

8. Simulación energética

3º Simulación

Una vez reducidas las temperaturas de los meses estivales, el objetivo es 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.

Como ya se ha comentado con anterioridad, las reformas tienen que ser mínimas y de bajo coste por ser patrimonio histórico. Así, que después de analizar las imágenes termográficas del capítulo 7.2 se llega a la conclusión de que a través de las ranuras de las puertas se pierde parte del calor o frío.

Por ello, en esta simulación se han sustituido 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.

Se han cambiado dos tipos de puertas:

- Todas las exteriores (a excepción de la principal) que son de doble chapa metálica con un valor de transmitancia térmica de $2,438 \text{ W/m}^2\text{K}$ por puertas de madera con un valor de $2,041 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Las puertas que cierran el vestíbulo que son de vidrio prensado con un valor de transmitancia térmica de $2,270 \text{ W/m}^2\text{K}$ por puertas de madera sin puente térmico.



Figura 8.14. Gráfico de temperaturas diarias de la 3º simulación.

La figura 8.14 muestra las temperaturas interiores diarias de la 3º simulación y como se puede apreciar, la diferencia es prácticamente nula con las de la 2º simulación, pero veamos el consumo de energía en la siguiente figura.

8. Simulación energética

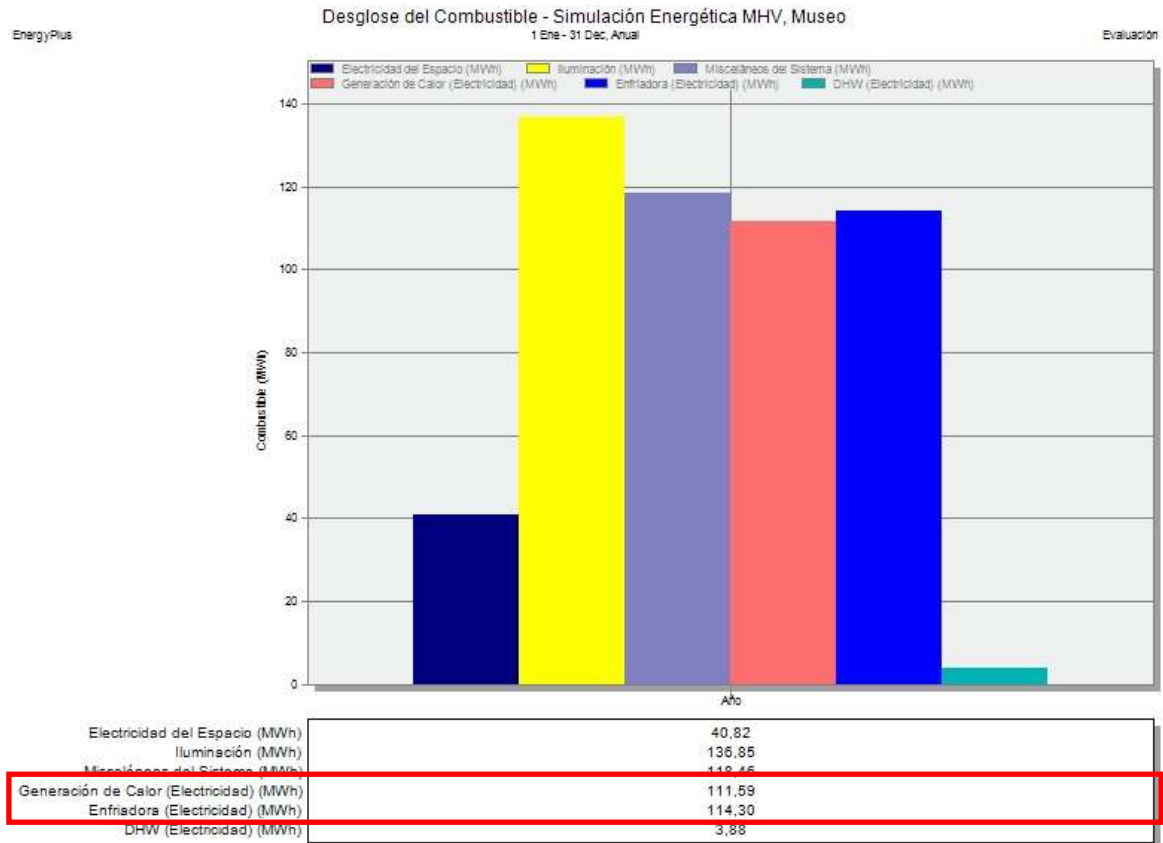


Figura 8.15. Gráfico de consumo de combustibles anual de la 3ª simulación.

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 metálicas y las de madera no es tan grande como para apreciar notablemente una diferencia de aislamiento y en consecuencia reducir el consumo.

8. Simulación energética

4º Simulación

Puesto que mejorando solo el aislamiento en los huecos la diferencia de consumo no ha sido notable, en la siguiente simulación se mejora el aislamiento térmico de todos los muros de cerramiento del edificio. Como se ha explicado en el capítulo 7.1 todos los muros exteriores tienen una cámara de aire de 18cm que es un gran espesor si lo comparamos con los utilizados actualmente en edificación de nueva planta. Teniendo esto en cuenta, se ha colocado placas de lana de vidrio de 10cm de espesor clavadas en la cara interior del muro de piedra histórico reduciendo la cámara de aire a 8cm en toda la longitud de los cerramientos exteriores.

Los resultados son los siguientes:

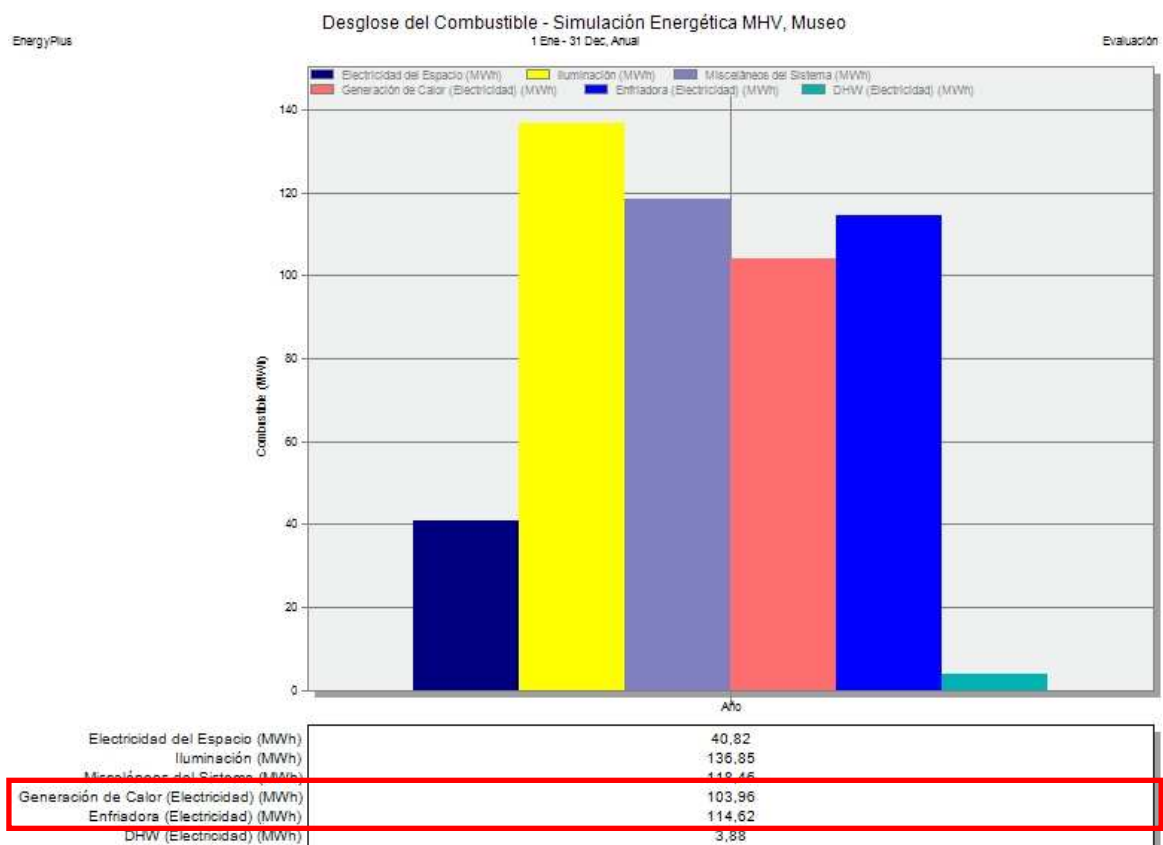


Figura 8.16. Gráfico de consumo de combustibles anual de la 4ª simulación.

8. Simulación energética

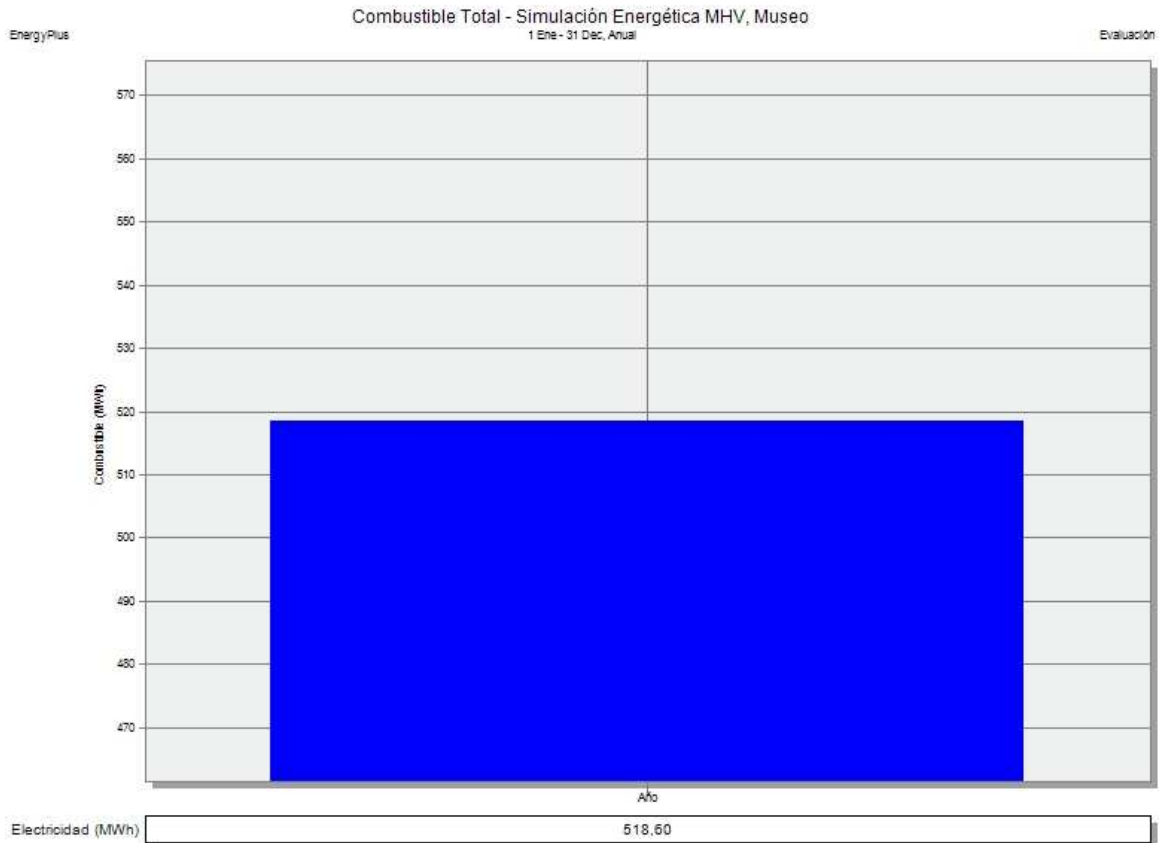


Figura 8.17. Gráfico de consumo de combustibles total anual de la 4ª simulación.

Como se aprecia en la figura 8.16 el consumo de la calefacción ha bajado a **104 MWh** y el de la refrigeración se mantiene en **114 MWh**. La figura 8.17 te indica que el consumo total es de **518 MWh**.

Si se comparan estos consumos con los de la 2ª simulación donde solo se han modificado los valores de temperatura en la configuración de los aparatos de climatización, observamos que el consumo total baja de 526 MWh a 518 MWh, poca diferencia para el gasto que puede acarrear la sustitución todas las puertas exteriores de metal y la colocación del aislamiento térmico de lana de vidrio en todos los cerramientos.

8.4. Propuesta de mejora

Después de realizar las simulaciones y analizar los resultados, llegamos a la conclusión de que los cerramientos del museo tal y como están actualmente no tienen grandes pérdidas de calor/frío, no resultando económicamente rentable una mejora de aislamiento.

Por ello, se propone una mejora en la configuración de los aparatos de climatización, tal y como se han indicado en la 2ª simulación.

Los valores de generación de calor se mantienen:

Calefacción 22°

Retroceso 20°

Y los valores de generación de frío se sustituyen:

Refrigeración 25° → 23°

Retroceso 28° → 25°

De esta forma, se consigue el confort adecuado subiendo un poco el consumo de los aparatos.

9. CONCLUSIONES

La eficiencia energética se puede definir como el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro. Por ello, reducir el consumo en los edificios siempre ha de ser un objetivo que nos hemos de plantear sin llegar a perder el confort. Pero antes la aplicación de energías renovables como la solar, se ha de estudiar la aplicación de medidas destinadas a la reducción del consumo energético mediante soluciones arquitectónicas, como la orientación, aislamientos, distribución, minimización de residuos, etc.

Para la caracterización térmica de los muros se ha comenzado calculando la transmitancia térmica de todos ellos. Los resultados indican que 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 ($0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$) y por tanto los mejor aíslan térmicamente. Les sigue el muro norte de la fachada principal que tiene mayor espesor ($0,470 \text{ W/m}^2\text{K}$). 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 ($0,623 \text{ W/m}^2\text{K}$). El cerramiento oeste es medianero por completo.

El museo utiliza el mismo sistema de climatización para toda la sala, los mismos aparatos que se encargan de generar calor en invierno, refrigeran en verano y están conectados a una centralita común. Por ello, la temperatura y humedad que consiguen mantener 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.

9. 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.

Se propone una mejora en el edificio del Museo de Historia de Valencia para adecuar el confort del público en verano, porque las temperaturas en julio, agosto y septiembre superan los 25°. La mejora consiste en reconfigurar los aparatos de climatización bajando los valores de temperatura en esos meses. Este cambio genera una subida de consumo de electricidad que se ha intentado reducir mejorando el aislamiento de los cerramientos y mejorando la inercia térmica de la sala, pero como se ha comentado, los muros funcionan tan bien que no saldría económicamente rentable. La diferencia de consumo después de aplicar el aislamiento es muy poca para el gasto que conllevaría realizar la reforma.

10. BIBLIOGRAFÍA

Libros y artículos:

- Boira, Josep Visent (2007). L'aigua domesticada. Ayuntamiento de Valencia. Valencia
- García, Victor. Análisis y diagnóstico de la eficiencia energética de edificios existentes mediante sistemas no destructivos. Congreso nacional del medio ambiente.
- Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE - Ahorro de energía.
- Código Técnico de la Edificación. Catálogo de elementos constructivos del CTE.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).
- Norma Básica de la Edificación en Edificios. Condiciones Acústicas (NBE – CA – 88).
- Testo AG (2008). Termografía, Guía de bolsillo.
- Martín, Juan Manuel (Secretaría Técnica de la Red de ciudades y pueblos hacia la Sostenibilidad) (2003). Medidas de eficiencia energética, de ahorro y otros criterios ambientales para incorporar en los edificios y equipamientos municipales. Barcelona

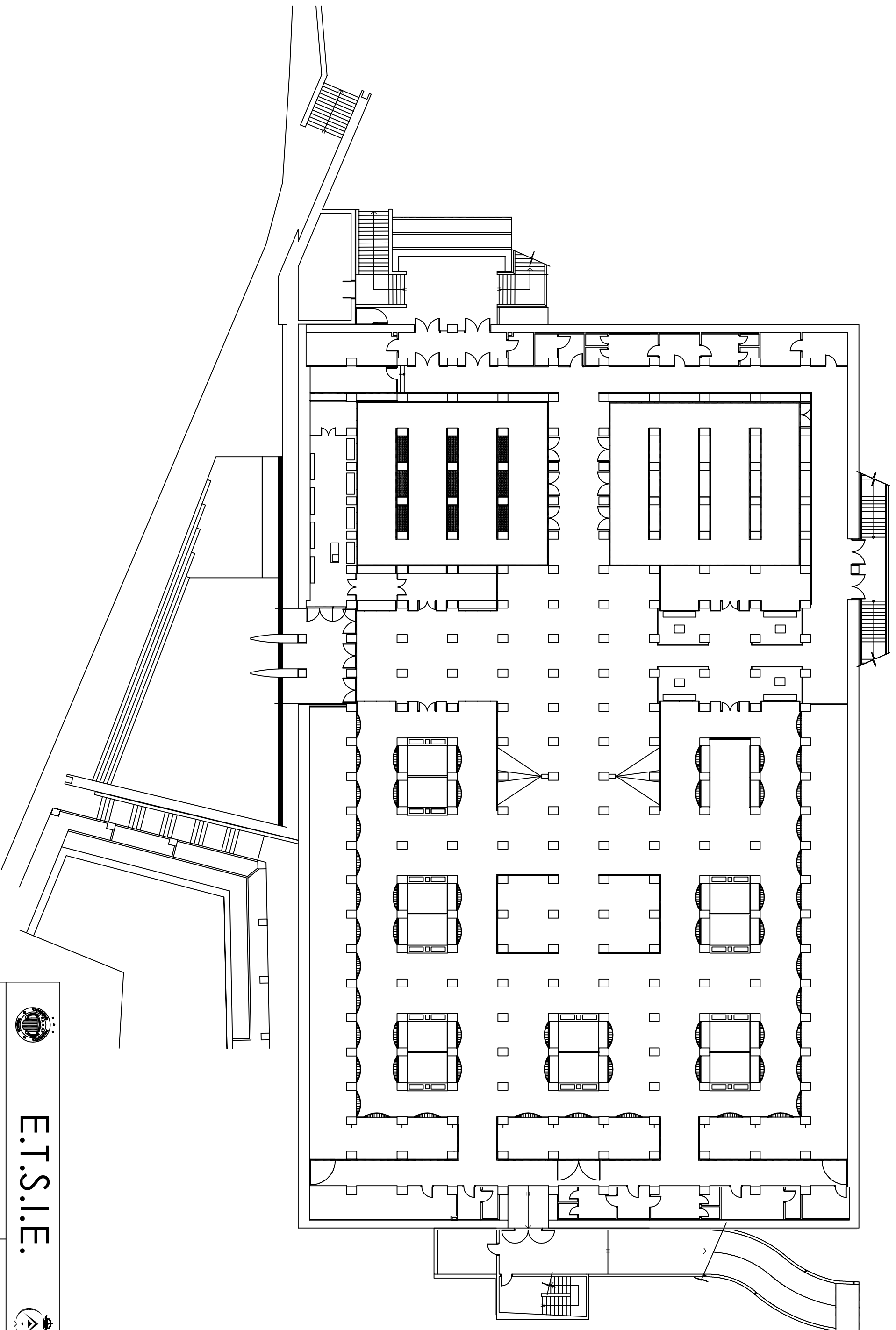
Páginas Web:

- www.metovalencia.es
- www.designbuilder.es
- www.testo.es
- Polibuscador

Proyectos relacionados:

- García, Daniel (2009). Caracterización térmica de fachadas. UPV. Valencia
- Vicario, Esther (2011). Propuesta de mejora de eficiencia energética. UPV. Valencia
- Martínez, Antonio (2010). Master thesis in building energy performance modelling. Czech Technical University.

10. ANEXOS



E.T.S.I.E.



Plano: Panta del Museo de Historia de Valencia
Alumno: Carlos Del Rincon Maravilla

Escala: 1/300
Fecha: 9/02/2012

11.1 Tabla de **temperaturas máximas, mínimas y medias** de todas las sondas entre diciembre y mayo.

Sondas de sala	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
1	23,2	19	21,2	23,1	19,8	21,3	22,3	20,4	21,2	20,4	20,4	20,4	23,1	20,4	21,3	23,2	20,7	22,0
2	23,4	18,8	20,9	22,2	20,2	21,1	21,3	20,5	20,8	20,6	20,6	20,6	22,4	20,2	21,2	22,2	20,6	21,4
3	22,4	19,2	20,8	22,6	19,8	20,9	21,8	20,1	21,0	20,1	20,1	20,1	21,6	19,6	20,6	22,4	21	21,4
4	22,3	19,7	20,9	22,6	19,9	20,9	21,4	20,1	20,8	20,2	20,2	20,2	21,7	20,1	20,7	22,6	21,2	21,7
5	21,8	19	20,4	22,5	19,7	20,7	21,4	19,6	20,5	20,1	20,1	20,1	21,5	19,3	20,5	22	20,8	21,2
6	22,4	18,1	20,0	22,1	18,7	20,5	21,8	19,7	20,8	20,1	20,1	20,1	21,1	18,5	20,1	23,7	19,8	20,4
7	21,5	18,6	19,8	23,5	18,7	20,1	21,6	18,6	19,9	19,7	19,7	19,7	21,6	18,8	20,2	22,5	20,3	21,2
8	22,9	20,8	21,5	24,2	20	21,3	22,7	20	20,9	20,3	20,3	20,3	22,3	20,3	21,1	23,7	21,8	22,4
9	22,2	19,7	20,6	23,4	18,9	20,4	22,2	19,3	20,6	19,3	19,3	19,3	21,3	19,3	20,0	22,2	20,6	21,1
10	22,8	19,7	21,1	23,7	19,3	21,1	22,6	19,8	21,5	20,2	20,2	20,2	21,9	19,3	20,9	22,8	21,2	21,9
11	22,4	19,7	20,8	23,1	19,1	20,7	21,9	19,6	20,9	19,7	19,7	19,7	21,4	19,1	20,4	22,4	21	21,3
12	23,5	20,4	21,8	23,9	20	21,7	22,7	20,6	21,6	20,6	20,6	20,6	22,5	20,1	21,3	23,5	21,7	22,1

Sondas de vitrinas	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
1	24,8	21,2	22,8	24,1	21,1	22,7	23,4	21	22,5	23,7	21,3	22,1	24,1	20,9	22,4	24,9	22	23,0
2	24,3	20,7	22,6	24,1	20,7	22,3	23	21	22,1	23,5	20,8	21,6	23,5	20,4	21,7	24,9	21,4	22,4
3	23,3	20,1	21,2	24,3	19,5	21,1	22,8	21	21,5	22,4	19,6	20,4	24,2	19,2	20,7	25,3	20,2	21,8
4	24,1	19,9	21,2	23,8	20	21,3	23,8	19,8	21,1	22,8	19,8	21,0	23,4	19,6	21,1	24,8	20,2	21,9
5	23,2	20,2	21,5	24,2	20,3	21,8	23,9	20,2	21,6	23,1	20,2	21,5	23,2	19,9	21,5	24,8	20,6	22,3

11.2 Tabla de **humedad relativa máxima, mínima y media** de todas las sondas entre diciembre y mayo.

Sondas de sala	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
1	62,3	39,9	49,3	53,4	40,2	47,6	52,9	28,3	39,8	48,2	48,2	48,2	60,7	35,5	47,9	69	44,5	54,6
2	62,8	42,5	50,9	53,6	44,1	49,1	49,3	37,5	42,0	48,4	48,4	48,4	59,4	47,1	50,5	69,4	51,4	58,0
3	61,3	42,4	50,1	53,3	41,3	48,5	51,8	29,5	39,7	49,3	49,3	49,3	60,7	41,1	50,3	66,1	48,9	56,1
4	58,4	41,1	48,4	51,4	39,8	47,0	50,3	31,3	38,7	47,6	47,6	47,6	58	43,2	48,7	63,5	47,7	54,1
5	61,1	43,5	50,4	53,5	42,2	48,5	50,6	33,1	40,6	49,1	49,1	49,1	61,2	44,4	50,4	67,3	50,1	56,4
6	64,9	45,4	53,2	56,4	44,7	50,5	51,6	36,2	41,7	50	50	50,0	64,9	47,7	52,4	70,9	54,1	59,5
7	60,8	42,6	50,8	54,8	40,3	48,5	50,4	30,9	40,2	49,5	49,5	49,5	61,7	40,7	50,2	66,7	47	55,9
8	47,1	37,9	42,4	44,7	36,1	41,7	43,8	29,2	36,1	43,1	43,1	43,1	47,8	38,1	43,2	50,7	42,6	46,0
9	57,5	39,9	47,6	52,5	36,8	46,7	50,4	27,6	37,3	49,4	49,4	49,4	59,2	39,6	49,7	64,5	44,9	55,0
10	55,5	39	46,4	50,1	36,5	45,6	49,1	28,1	36,3	47,8	47,8	47,8	58,1	39,1	47,9	62,8	45,6	52,9
11	57,1	39,8	47,5	50,8	37,5	46,4	49,6	28,7	37,3	48,5	48,5	48,5	59,7	39,7	48,8	64,8	47,2	54,6
12	56,1	39,8	46,9	49,8	37,9	45,8	48,4	29,8	37,6	47,6	47,6	47,6	57,8	40,2	48,0	64,8	47,2	54,3

Sondas de vitrinas	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
1	51,6	38,2	43,9	48	30,2	43,1	44,6	20	37,6	48,9	31,3	45,3	54,3	40,2	48,1	59,2	41	52,5
2	51,9	38,4	44,6	47,1	31,2	43,6	46,3	20	37,2	49,8	31,1	46,0	56,3	40,4	49,5	59,9	41,3	54,4
3	57,4	40,8	48,3	52,2	33,4	45,7	40,1	21,3	33,6	51,4	35,7	47,8	57,5	42,3	51,2	60,7	48,4	55,6
4	55	40,2	47,3	68,9	31	45,4	47	20,6	37,7	55,9	31,5	47,5	58,3	42	51,1	61,1	48,5	55,7
5	54	40,6	46,2	51,2	31,7	44,1	44,8	20,9	36,8	49,9	32,8	45,9	60,9	41,7	49,6	59,4	48	54,3



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN