



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**INGENIERIA DE EDIFICACIÓN
PROYECTO FINAL DE GRADO**

**ESTUDIO TÉRMICO DEL EDIFICIO DE LA EPSEB (UPC) MEDIANTE CERTIFICACIÓN
CON CALENER Y ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE LIDER.**

Proyectista/es: Nuria Barriuso

Sandra Boned

Director/s: Inma Rodríguez Cantalapiedra

Ana Lacasta Palacio

Convocatoria: Junio 2010

RESUMEN

La intención de este proyecto es realizar un estudio energético, para ello se ha elegido el edificio de la EPSEB. El edificio que pertenece a la UPC está situado en C/ Doctor Marañón de Barcelona. Fue construido a principio de los años 60 y tiene una planta semisótano, planta baja y cuatro plantas piso.

En primer lugar, se ha realizado un trabajo experimental consistente en la determinación de las transmisiones de flujo de calor y las temperaturas superficiales en las diferentes fachadas, así como los registros de temperatura en las diferentes estancias del edificio.

Estas mediciones nos han permitido conocer la variabilidad de flujo según influyen los factores ambientales. Gracias a los diversos ensayos realizados en las fachadas del edificio hemos podido ver la gran influencia que tienen tanto la radiación solar como la velocidad del viento.

Cuando la radiación solar incide directamente sobre el vidrio hace que el flujo varíe, pudiendo incluso llegar a haber aportación de calor del exterior al interior. Se analizó también la diferencia de flujo entre una ventana con la persiana subida y otra con la persiana bajada, y se corroboró la importancia de hacer un buen uso de las protecciones solares para intentar reducir el gasto energético ya sea en calefactar o refrigerar las estancias. Durante el invierno se debería aprovechar la radiación solar dejando las persianas subidas durante las horas que incida el sol y después bajarlas para conservar el calor. En verano se recomienda tenerlas bajas para que no incida la radiación solar y aumente desproporcionadamente la temperatura interior de las aulas

En cuanto a la velocidad del viento se han realizado ensayos que nos llevan a pensar que en las fachadas a barlovento la resistividad exterior del aire coincide con los datos que se indican en el CTE ($R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$), mientras que para fachadas a sotavento la resistividad exterior es mayor, alcanzando los $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$. El Código Técnico de la Edificación siempre se queda con el valor más desfavorable. Se debería tener en cuenta este dato a la hora de hacer medidas *in situ* con el fin de poder conocer los valores reales.

Después se ha realizado un estudio del estado energético de la piel del edificio de la EPSEB (UPC). Para realizar este estudio se han utilizado una serie de programas informáticos especializados: LIDER y CALENER.

Los registros de temperatura interior permiten evaluar el grado de confort en el interior del edificio y correlacionarlo con el coste energético. En general la temperatura interior media en invierno no alcanza los 20°C y puesto que el coste energético es inferior al que demanda el LIDER podríamos pensar que en el edificio se pasa frío.

Estos programas se utilizan actualmente para hacer la calificación energética de los edificios y para su adecuación al Código Técnico de la Edificación. Por último, aprovechando que durante el desarrollo de este proyecto se realizó el cambio de carpinterías del edificio, se aprovechó para comprobar la mejora que generaba en la certificación energética. Hemos visto que en cuanto a la pérdida de flujo con las nuevas carpinterías hay una mejora considerable, ya que se pierden 20KWh/m^2 menos.

Aunque ésta es una buena intervención puede ser que no sea suficiente para mejorar el rendimiento energético del edificio. Según los datos extraídos del CALENER la instalación que más CO_2 emite es la iluminación, más del 60% del total. Por tanto, se debería plantear alguna mejora en dicha instalación como podría ser la sustitución de las luminarias por lámparas fluorescentes compactas de la clase A o por otros sistemas eficientes que permitan optimizar la instalación.

ABSTRACT

The purpose of this project is to perform an energetic study of a building. Hence, we have chosen the building of EPSEB. This UPC's building is located in Doctor Marañón Street, in Barcelona. It was constructed in the early 60s, and has a semi-basement, a ground floor, and four additional floors.

First, an experimental work was carried out. It consisted in the determination of the transmission of the heat flow, the determination of the facade's superficial temperatures, and the evaluation of temperature in the different stays of the building. These measurements have made possible to identify the flow's variations as the environmental factors change. Due to the various tests performed in the facade of the building, we were able to confirm the great influence that both, the solar radiation and the speed of the wind, have.

The direct solar radiation on the glass changes the flow, making possible the transmission of heat from the outside to the inside of the building. We analysed the flow difference between the window with the blinds open and the same window with the blinds closed. This study corroborated the importance of doing a good use of the solar protections to try to reduce the energetic expense both when heating or cooling the stays. In winter, it is recommended to take advantage of the solar radiation by having the blinds open during sunny hours, and by closing them the rest of the time, in order to preserve the heat. In summer, it is recommended to close the blinds to make possible that solar radiation does not increase and affect the inside temperature of the classrooms.

As for the speed of the wind, tests were performed that lead us to think that in the windward facade the external resistance matches with the data indicated in CTE ($R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$). Whereas in leeward facade the resistance is superior, reaching $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$. The Technical Code of the Building always keeps the most unfavorable value. This fact should be taken in account when measuring *in situ*, in order to know the real values.

Afterward, we have performed a study of the energetic condition of EPSEB (UPC) building's skin. To conduct this program we used a number of specialized IT programs: LIDER and CALENER.

The records of the inside temperature made possible evaluating the degree of comfort inside the building and correlate it with the energetic cost. Generally, the average inside temperature does not reach 20°C and, since the energetic cost is lower to the one requested by LIDER, we could think that the building is too cold. These programs are used nowadays for building energetic qualification and to test the adequacy to the Technical Code of the Building.

Finally, taking advantage of the carpentries replacement performed in the building during the preparation of this study, we checked the improvement generated in the energetic certification. We have confirmed that the new carpentries improve the loss of flow, since the loss is reduced by 20KWh/m^2 . Although this is a good intervention, it can be insufficient to improve the energetic performance of the building. According to the information extracted from CALENER, the system that more CO_2 emits is the lighting system, with more than 60% of total emissions. Therefore, it would be convenient an improvement in the lighting system, for example the replacement of the lights by class A fluorescent compact lamps, or by other efficient systems that allow the optimization of the system.

ÍNDICE

- 1 Introducción.
- 2 La certificación energética
 - 2.1 La certificación energética en España
 - 2.1.1 Metodología de cálculo
 - 2.1.2 Detalles de la certificación energética
 - 2.1.3 Opciones de cálculo para la aplicación práctica de la certificación de edificios
 - 2.1.4 Etiqueta y clases de eficiencia energética
 - 2.2 La certificación energética en el resto de Europa
 - 2.2.1 Dinamarca
 - 2.2.2 Reino unido
 - 2.2.3 Francia
 - 2.2.4 Alemania
- 3 Definición del edificio objeto de estudio
 - 3.1 Estructura
 - 3.2 Carpintería
 - 3.3 Instalaciones
 - 3.3.1 Calefacción
 - 3.3.2 Refrigeración
 - 3.3.3 Agua caliente sanitaria

- 4 Realización ensayos
 - 4.1 Instrumentos de medición
 - 4.1.1 Fluxómetro LI-19
 - 4.1.2 Testo 175-H2
 - 4.1.3 Testo 635-2
 - 4.1.4 Datalogger thermometer
 - 4.1.5 Cámara térmica (FLIR)
 - 4.1.6 Medidor lux
 - 4.2 Fundamentos teóricos
 - 4.3 Protocolo experimental
 - 4.4 Comparativas de flujo en diferentes elementos
 - 4.4.1 Vidrio simple
 - 4.4.2 Vidrio simple y vidrio doble existente
 - 4.4.3 Vidrio simple existente y vidrio nuevo
 - 4.4.4 Transmisiones a través de elementos opacos
 - 4.5 Comparativa de coeficientes de transmisión teóricos con los obtenidos experimentalmente
 - 4.6 Comparativa entre los coeficientes de transmisión térmicos obtenidos en diferentes días y ubicaciones.
- 5 Calculo de la demanda de energía mediante LIDER
 - 5.1 Evaluación de la demanda de energía con el programa LIDER
 - 5.1.1 Introducción de datos en el programa
 - 5.1.2 Definición de materiales
 - 5.1.3 Definición de elementos constructivos
 - 5.1.4 Cargas internas y climatización
 - 5.1.5 Metodología de cálculo
 - 5.2 Análisis de resultados del cálculo de la demanda energética del edificio actual
 - 5.3 Análisis de resultados del cálculo de la demanda energética introduciendo la mejora de ventanas en el edificio.

- 6 Calificación energética mediante CALENER VYP
 - 6.1 Certificación energética con el programa CALENER
 - 6.2 Metodología de cálculo
 - 6.3 Definición de sistemas y componentes del edificio.
 - 6.3.1 Demanda de ACS
 - 6.3.2 Unidades terminales, equipos, sistemas y factores de corrección
 - 6.4 Análisis de resultados del cálculo de la certificación energética del edificio existente
 - 6.5 Análisis de resultados del cálculo de la certificación energética introduciendo la mejora de ventanas del edificio.
- 7 Propuesta de mejoras
- 8 Conclusiones.

Anejo I: Ensayos experimentales

- 1.1 Flujo en vidrio
- 1.2 Flujo en vidrio + persiana
- 1.3 Flujo en vidrio y vidrio + persiana
- 1.4 Flujo en pared
- 1.5 Flujo en pilar

Anejo II: Resultados LIDER

- 2.1 Edificio actual
- 2.2 Edificio modificación ventanas
- 2.3 Consumos

Anejo III: Resultados CALENER

- 3.1 Edificio actual
- 3.2 Edificio modificación ventanas
- 3.3 Toma de datos instalación de calefacción
- 3.4 Listado de aparatos de refrigeración

1 Introducción.

Las motivaciones que nos llevan a desarrollar este trabajo tienen su origen en la creciente preocupación por la optimización de los recursos de que disponemos. La certificación energética ha pasado de ser una consideración a ser un requisito en cualquier tipo de edificación, obra nueva o existente.

Se abre un nuevo campo de trabajo que en la situación actual del mercado de la construcción se convierte en un reto profesional, puesto que los estudios energéticos de los edificios se convierten en parte integrante de los proyectos de construcción.

Es una nueva competencia que adquieren entre otros los ingenieros de edificación y para poder desarrollarla será necesaria una formación específica en el tema.

Por todos estos motivos hemos decidido profundizar en la certificación energética de los edificios. Creemos que es un complemento importante para nuestro futuro profesional.

1.1 Objetivo del proyecto

El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento energético de los materiales que conforman el edificio EPSEB de la UPC. Mediante mediciones *in situ* se conocerán los valores de transmitancia de los materiales para luego poder compararlos con los que toman de referencia los programas LIDER y CALENER.

Estas mediciones *in situ* se realizarán mediante instrumentos de medición en los diferentes espacios del edificio. Analizando concretamente temperaturas, transmisión térmica, velocidad del viento, entre otros.

Mediante estos ensayos se quiere analizar el intercambio de flujo a través de elementos opacos y vidrios para conocer su influencia dentro de la piel del edificio. Y aprovechando que hay planificada una sustitución de las carpinterías existentes por unas que cumplen las prestaciones que exige la normativa actual, se pretende conocer cuál será el ahorro energético que supondrá esta actuación.

Por último se pretende aplicar el método general de certificación energética al edificio para conocer su calificación. Esto se realizará mediante los programas reconocidos, hasta la fecha para ello, LIDER y CALENER.

1.2 Alcance del proyecto

Con este proyecto se pretende obtener datos concretos del edificio para identificar la problemática existente, y así, poder dar posibles soluciones técnicas que puedan ser capaces de mejorar notablemente la eficiencia energética del edificio, ya que en nuestro estudio se analizan múltiples parámetros y necesidades energéticas del edificio.

1. Introduction.

The motivations behind the development of this work are originated in the increasing concern regarding the optimization of the existing resources. The energetic certification has gone from being a merely consideration to be a requirement in any type of edification, both new buildings and existing ones.

The emergence of this new field of work, in the current situation of the construction market, becomes a professional challenge because the energetic studies become an important part of the building projects. It is a new competence acquired by edification engineers, among others. In order to be able to develop this competence, a specific education will be required.

For all these reasons, we have decided to study in depth the energetic certification of the buildings. We believe that is an important complement to our professional future.

1.1 Objective of the Project

The objective of this project is to know the energetic behaviour of the materials contained in the EPSEB building of the UPC. Through *in situ* measurements, we will find the values of transmission of the materials, and after that we will compare them with those values used as reference by the programs LIDER and CALENER.

These *in situ* measurements will be carried out with measuring instruments in the different parts of the building. Specifically, we will be analyzing temperature, thermal transmission, and wind speed, among others.

Through these essays we want to analyse the flow exchange through opaque elements and glass, and to know its influence on the building's skin. Moreover, taking advantage of a scheduled replacement of carpentries by some that follow the current regulations, we pretend to quantify the energetic savings of this performance.

Finally, we pretend to apply a general method of energetic certification to the building in order to know its qualification. This will be carried out by the programs more indicated nowadays for this task, LIDER and CALENER.

1.2 Scope of the Project

With this project we pretend to obtain concrete data of the building in order to identify the existing problematic, and then to be able to provide technical solutions that will allow improving considerably the energetic efficiency of the building, because in our study we analyse several parameters and energetic necessities of the building.

2 La certificación energética

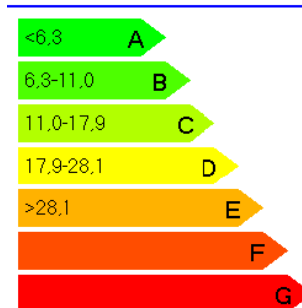
2.1 La certificación energética en España

La certificación energética de los edificios es una exigencia derivada de la Directiva 2002/91/CE, un requisito legal obligatorio a partir de Julio de 2007 en todos los edificios nuevos, y para edificios existentes, hasta la fecha, sólo existe un borrador.

Las normativas europeas han intentado incidir sobre el consumo energético de las construcciones ya que representan casi el 30% del consumo de energía primaria. Se ha creado una herramienta similar a la ya empleada en el caso de los electrodomésticos

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.

Certificación Energética de Edificio:
Indicador kgCO₂/m²



Sin embargo, los electrodomésticos se someten a test en un laboratorio, mientras que los edificios son sistemas mucho más complejos cuyo funcionamiento no se puede testear o estimar de manera tan sencilla, sometidos a condiciones y hábitos de uso mucho más variables. Por ello, poner en práctica un sistema de este tipo no es posible si no es realizando grandes simplificaciones.

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. Esto se consigue porque, en primer lugar, una promoción con una calificación más eficiente tiene una mejor imagen, otro argumento para su venta y, en segundo lugar, la existencia de una etiqueta facilita que el consumo de energía se convierta en un criterio más de compra por parte del consumidor.

2.1.1 Detalles de la certificación energética

La Directiva Europea 2002/91/CE tiene como objetivo fomentar la Eficiencia Energética de los Edificios (EE) y obliga a todos los estados miembro, entre otras cosas, a que todo edificio, tanto si se vende como si se alquila, vaya acompañado de un Certificado de Eficiencia Energética. Este certificado se debe presentar a la persona interesada, el propietario o inquilino. En España esta directiva no se aplicó hasta el año 2007, mediante la aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE), la realización de modificaciones al Reglamento de Instalaciones Térmicas de edificios (RITE), y el Real Decreto 47/2007, del 19 de enero, que define la aplicación de una certificación energética.

Este decreto entró en vigor el 30 de abril de 2007, fue de aplicación voluntaria hasta el 31 de octubre de 2007, mientras que a partir de entonces su cumplimiento es obligatorio

Para los edificios existentes se ha elaborado un borrador, analizándolo se extrae que a partir del primer semestre del 2.011 los edificios deberán disponer de su certificado de eficiencia energética para poner a disposición de los usuarios de los edificios.

El decreto que recoge la certificación energética resulta bastante general. Define la obligatoriedad de la certificación y los requisitos de los programas informáticos que se deben emplear, pero deja en manos de las comunidades autónomas el desarrollo de procedimientos de implantación y, muy importante, el control de esta certificación energética.

2.1.2 Metodología de cálculo

Para poder llegar a calificar energéticamente el edificio se debe realizar una modelización teórica del consumo energético del edificio. Esto es así porque el certificado y la clase de eficiencia deben estar disponibles cuando el edificio se vaya a vender, no cuando ya esté siendo utilizado. Además, sólo se puede tratar de comparar edificios en unas condiciones teóricas, ya que cuando está habitado el consumo energético influiría según los hábitos de cada casa.

Así, en la fase de proyecto se debe calcular la demanda de energía del edificio a proyectar. Para este cálculo de la eficiencia del edificio, hasta el momento, el único programa reconocido actualmente es el programa LIDER. El programa modeliza los datos de consumo eléctrico total, a partir de una descripción del edificio que incluye características de la envolvente, la ventilación y orientación, las condiciones ambientales interiores, la existencia de sistemas solares pasivos y protecciones solares.

Luego se calcularía la calificación energética del edificio, es decir, la eficiencia energética de un edificio respecto a uno convencional. Se introducirán en el programa los datos de las instalaciones de calefacción, ACS y aire acondicionado y las de iluminación. Hasta el momento, el único programa reconocido es el CALENER.

La herramienta CALENER compara el edificio modelado con un edificio “estándar” de características similares, situado en la misma localidad geográfica y cuyo comportamiento energético ha sido analizado en un estudio de campo. En función de esa comparación, el programa le asigna una clase de eficiencia energética, de la A a la G.

Finalmente, con esta calificación en una categoría (de la G a la A) se emiten el certificado energético y la etiqueta provisionales. Posteriormente, durante la ejecución del edificio, mientras está siendo construido y acabado, se comprobará que esta eficiencia simulada en la fase proyecto coincide con el funcionamiento energético real. Se obtendrá así la calificación energética del edificio acabado, se reajustan los datos a la calificación adecuada si es necesario, y se otorga el certificado definitivo.

El certificado de eficiencia energética se debe incluir en el libro del edificio y tiene una vigencia de 10 años, tras los cuales el edificio se debería volver a calificar para que la etiqueta que muestre sea adecuada a la realidad del edificio.

2.1.3 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.

La opción general permite acceder a las calificaciones superiores (**clases A, B, C**). En ella se utilizan los programas de cálculo de referencia que actualmente son los 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 centros educativos, hospitales, edificios agrícolas, locales comerciales, etc.

Así, para los edificios destinados a viviendas, se hizo un estudio de campo seleccionando 14 edificios de viviendas unifamiliares y 11 plurifamiliares, con las 4 orientaciones posibles y en las 12 localizaciones climáticas posibles según el CTE. Con estas características, se calcularon las emisiones totales asociadas a cada una de esas tipologías. La calificación general para viviendas se obtiene por comparación con uno de estos edificios de referencia, el más similar en tipología al edificio que deseamos calificar.

Por otro lado, para los edificios no residenciales, en los que es 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**. La clase de eficiencia en este caso se obtiene de manera indirecta, a través de soluciones técnicas que mejoraran el comportamiento energético del edificio respecto a los requisitos básicos que marca el CTE. Estas soluciones técnicas están recogidas en una guía, y la adopción de unas u otras determinan la calificación definitiva, D o E.

Las soluciones sólo incluyen parámetros de compacidad y de eficiencias de las máquinas de calefacción, refrigeración y ACS, y además, en algunas de estas categorías no hay definidos parámetros, o todas las eficiencias son permitidas, por lo que no hay un gran margen para diferenciar o premiar soluciones eficientes.

2.1.4 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 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). También como en el caso de los electrodomésticos, las diferencias entre clases de eficiencia energética serían importantes. Por ejemplo, en la aplicación de la calificación sobre un proyecto de dos viviendas unifamiliares situadas en Madrid, se estimó que la calificada como clase de eficiencia A emitiría 4 veces menos CO₂ que la calificada como E.

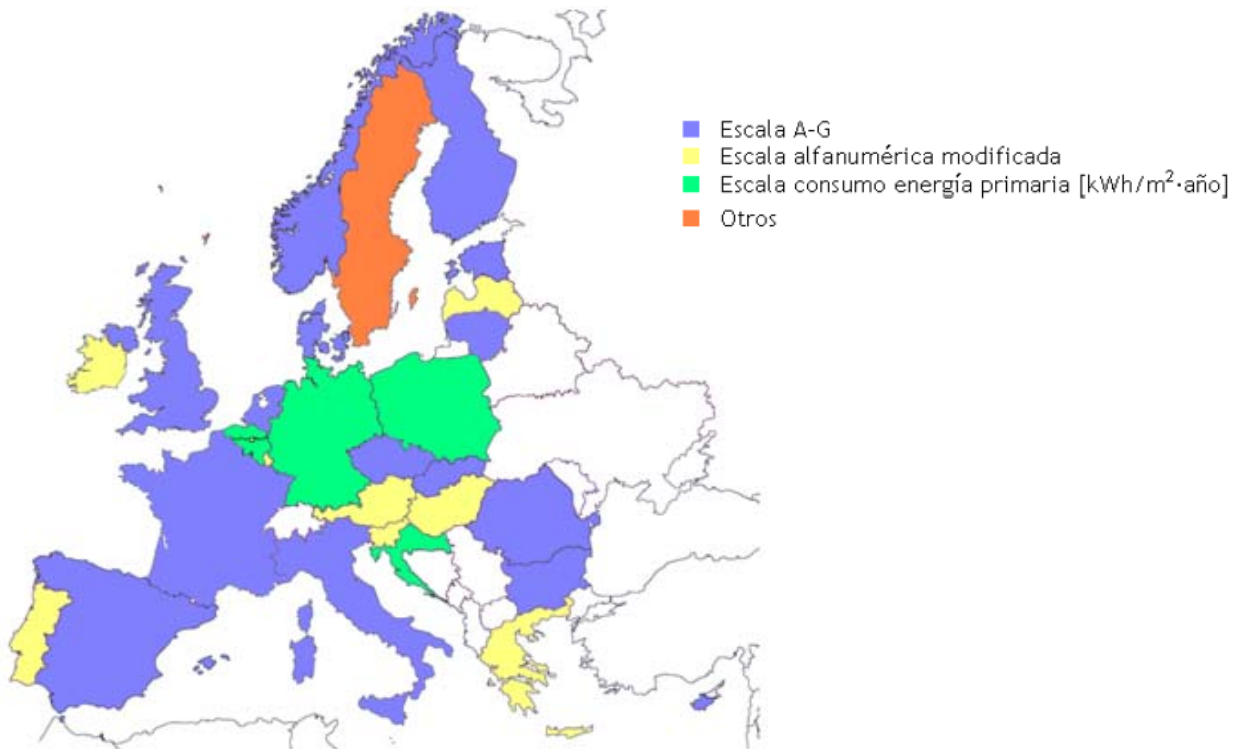
En todo caso, se ha de tener en cuenta que *sólo podremos comparar la clase de eficiencia energética de dos edificios cuando sean muy similares entre sí*. Esto es así porque todos los edificios se califican *en relación a un edificio similar a él*, con un comportamiento energético determinado, pero no 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 y puede prescindir de instalaciones potentes, etc, aunque su peor aislamiento le hace tener una calificación más baja.

Otra información que aparece en la etiqueta es 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.

2.2 La certificación energética en el resto de Europa

En el resto de Europa, países como Dinamarca, Reino Unido, Francia, Irlanda ... cuentan con una legislación en materia de calificación energética que lleva años en práctica.



2.2.1 Dinamarca

Dinamarca es uno de los países con mayor trayectoria en este tema, lleva realizando certificaciones energéticas de edificios desde 1997 (Energimærke).

Es de obligado cumplimiento en los edificios de nueva construcción con un uso no industrial. También contempla su aplicación para edificios ya construidos de menos de 1.500 m².

La clasificación energética comienza con **A1**, que se otorga a los edificios con máxima eficiencia energética, y va hasta **C5**, que correspondería a la menor eficiencia energética. A diferencia de la legislación española, aparte de incluir información sobre el consumo energético y las emisiones de CO₂, también se proporciona información sobre el consumo de agua del edificio, y se hace una predicción del consumo anual esperado de agua y energía.

El proceso de certificación energética comienza con una **auditoría energética**, que debe ser realizada por un ingeniero o un arquitecto, definido como consultor energético, y que para poder realizar este tipo de inspecciones ha de contar con cinco años de experiencia en el sector de la edificación y el ahorro energético.

Para los edificios menores de 1500m² existe “Energy labelling for Small Buildings” (EM)

Para edificios grandes, de más de 1500m², tienen el “Energy Management Scheme for Large Buildings” (ELO). Es obligatoria y tiene una frecuencia anual tanto del proceso de etiquetado como del plan energético del edificio. Este certificado energético está basado en la medida de consumos realizados por el propietario del edificio, que el consultor encargado

de emitir las certificaciones procesa con herramientas desarrolladas para este certificado, incorporando valoraciones del impacto de distintas mejoras energéticas (tanto sobre la certificación como sobre los costes involucrados) para que el propietario pueda priorizar las acciones a tomar.

Ambos esquemas de certificación energética de edificios daneses incorporan tanto una valoración energética del edificio como un plan de mejoras energéticas

El consumo máximo permitido es $35 + \frac{1100}{A} \frac{KWh}{m^2}$

Siendo A la superficie de suelo calefactado.

2.2.2 Reino Unido

Reino Unido es uno de los países de la Unión Europea que antes impuso el proceso de certificación energética, en el año 1995. (Energy Rating)

Su normativa es aplicable a viviendas existentes y nuevas construcciones.

La clasificación en este país, recibe el nombre de SAP (The Standard Assessment Procedure), y va desde 1, que corresponde a la menor calidad energética, hasta 100. Se considera una alta calidad energética, a partir de una clasificación de 80.

Consiste en un balance estático de la demanda de energía de una vivienda, el cual entrega como resultado las emisiones de CO₂ al año.

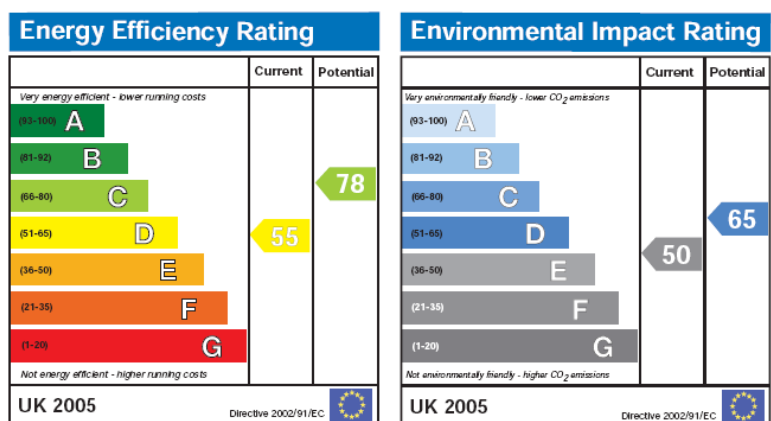
Los procesos de certificación energética son realizados por profesionales que han recibido formación en esta materia y han debido aprobar un examen que les permite realizar este tipo de procesos.

Las emisiones de CO₂ se calculan en base al cálculo del TER (Target Emission Rate), que es el índice de emisiones de CO₂ de la vivienda objeto respecto a la vivienda de referencia, y se expresa en [kg de CO₂ por m² de superficie por año].

En esta clasificación no se valora la localización del edificio, su climatología, ni consumos de iluminación y electrodomésticos.

Para evaluar la demanda energética se debe considerar las siguientes variables: calefacción, agua caliente, iluminación y energía utilizada en bombas y ventiladores.

Se da una calificación respecto a su comportamiento energético y su impacto en el medio ambiente. Finalmente, se entregan recomendaciones de bajo costo, menores a 500 libras y otras de mayor costo, para mejorar los estándares de eficiencia.



2.2.3 Francia

Francia se ha unido más recientemente a la política de certificación energética y su normativa data del año 2000 (Effinergie).

Esta normativa es de obligado cumplimiento en edificios no industriales y de nueva construcción.

A la hora de realizar la clasificación existen dos métodos de cálculo, uno simplificado válido para edificios de menos de 220 m² y para personas sin conocimientos específicos en temas energéticos, y otro más complejo para realizar por profesionales del sector.

El consumo máximo permitido es de 50 KWh/m².

Establece que el consumo de energía para las instalaciones de calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ventilación, climatización y, en determinados casos, iluminación debe ser menor que un consumo establecido como de referencia, según la zona del país donde se localice el edificio.

2.2.4 Alemania

En Alemania la determinación de la EE y el Certificado Energético (Energypass) existe desde el año 2002, a través de la Ordenanza de Ahorro de energía EnEv 2002.

La metodología de evaluación se basa en comparar la demanda anual estimada de energía primaria de una vivienda, con respecto a una línea base de referencia, establecida en función del coeficiente de forma (Área de envolvente / Volumen de la vivienda). Para cumplir con la normativa la demanda de la vivienda a evaluar debe ser inferior al límite establecido. Además establece las pérdidas máximas de calor por transmisión a través de la envolvente.

La certificación comienza en la etapa de diseño, en donde el arquitecto, ingeniero o asesor energético calcula la demanda (consumo teórico) de energía primaria

En Alemania existen asesores energéticos (aussteller) que son acreditados por la agencia Alemana de la energía, DENA (Deutsche Energie – Agentur GMBH). Ellos pueden realizar la evaluación inicial del diseño si el cliente lo solicita.

Existen dos tipos de certificados:

- Certificado de Demanda – Edificaciones Nuevas
- Certificado de Consumo – Edificaciones Existentes

Existen dos métodos para determinar la Demanda de Energía Primaria:

- Método Simplificado (Método de Balance Periódico) Si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%.
- Método de Balance mensual. Si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%.

El consumo máximo permitido es 120KWh/m².

Taula 1.1: Resumen certificación energética Europa

| | Dinamarca | Reino Unido | Francia | Alemania | España |
|---|--|---|--|--|-----------------------------|
| Normativa | 2002/91/CE | 2002/91/CE | 2002/91/CE | 2002/91/CE | 2002/91/CE |
| Año aplicación | 1997 | 1995 | 2000 | 1995 | |
| Aplicación | Edificios de nueva construcción con un uso no industrial, viviendas y de servicios. Edificios construidos de menos de 1500m ² Uno para grandes edificios y otro para pequeños edificios (frontera en 1500m ²) | Las metodologías son aplicables a todo tipo de edificaciones existentes y los nuevos edificios. | Edificios no industriales y de nueva construcción | Certificado demanda (Edificaciones nuevas) Certificado consumo (Edificaciones existentes) | Nuevas construcciones |
| Métodos | “Energy labelling for Small Buildings” (EM) “Energy Management Scheme for Large Buildings” (ELO). | Método general | Simplificado (menos 220m ²) General | Método Simplificado: si el % de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%. Balance Mensual: si el % de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%. | Simplificado General |
| | (A1-C5) | SAP (1-100) | (A-G) | ENNERGYPASS | (A-G) |
| Técnico | Auditoría energética (Ingeniero o Arquitecto) con 5 años de experiencia | Profesionales que deben aprobar un examen. | Personas sin conocimientos en temas térmicos (simplificado) Profesionales (general) | Asesores energéticos (aussteller) que son acreditados por DENA. | Profesionales sector |
| Consuma máximo KWh/m² | $35 + \frac{1100}{A}$ KWh/m ² | | 50 KWh/m ² | 120KWh/m ² | 50KWh/m ² |

3 Definición del edificio objeto de estudio

El edificio de la EPSEB está compuesto por dos edificios de planta semisótano, planta baja y 3 plantas piso unidos entre sí.



Estos edificios se construyeron en diferentes épocas. En primer lugar se construyó el edificio principal, a principios de 1960, situado al norte de la parcela, Edificio 1. Más tarde se construyó el edificio contiguo a este, a principios del año 1970, Edificio 2.

Figura 3.1: Edificio objeto

El conjunto de los edificios consta de una fachada principal (Fachada A), paralela a la Av. Doctor Marañón, una fachada lateral (Fachada B) paralela a la Av. Diagonal, una fachada posterior (Fachada C) paralela a la principal. En esta fachada posterior también existe una fachada (Fachada D) que dobla 90° en la zona de unión del presente edificio con el edificio anexo. Esta pequeña parte de la fachada es paralela a la C/ Pau Gargallo.

3.1 Estructura

EDIFICIO 1:

Estructura: El edificio es un cuerpo de dos luces de 22 y 78m. La estructura consiste en forjados unidireccionales, jácenas y pilares de hormigón vistos.

Cubierta: La cubierta en un principio era de chapa metálica, posteriormente se hizo una intervención añadiendo encima unos paneles sándwich e impermeabilización.

Cerramiento exterior: El cerramiento exterior de las fachadas es de pared cerámica con cámara de aire sin aislamiento. Los revestimientos exteriores son de chapa metálica bajo ventana y de piedra caliza natural en el resto.

EDIFICIO 2:

Estructura: El edificio es un cuerpo de dos luces de 34 y 23m. La estructura de este edificio consiste en forjados unidireccionales cerámicos, jácenas y pilares metálicos.

Cubierta: La cubierta es metálica y se ha añadido una impermeabilización de membrana bituminosa autoprottegida.

Cerramiento exterior: Muro cortina de vidrio coloreado verde.

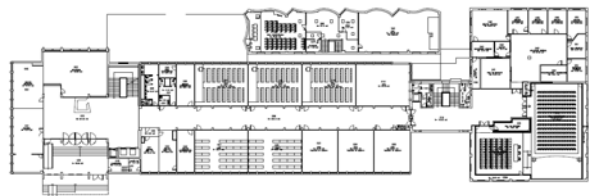


Figura 3.2: Fachada Norte y plano planta baja

3.2 Carpinterías

Las carpinterías del edificio son metálicas y presentan deficiencias tanto en estanqueidad, aislamiento térmico, acústico y seguridad.

La carpintería de acero con la que se fabricaron las ventanas fue muy usada entre los años 50 y 80 bajo diversas formas, la de nuestro edificio es conocida por carpintería de acero “Mondragón”

El vidrio instalado sobre este tipo de carpintería es vidrio monolítico, de 6mm, que no aporta ninguna mejora en temas de aislamiento térmico ni acústico. Todos los vidrios están soportados con ribetes de madera.

Existen diversos tipos de ventanas. Se han denominado: Tipo 1, 2, 3,4 y 5

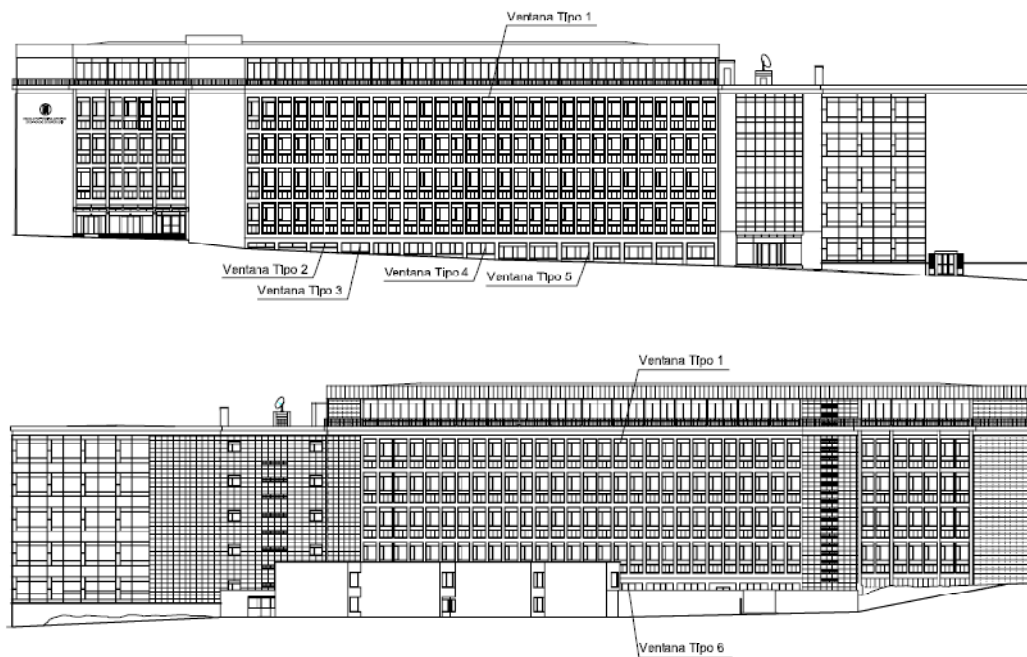


Figura 3.3: Fachada Oeste y Este

En las ventanas tipo 1 (T1), hay franjas diferenciadas. La parte superior es una ventana con un sistema de obertura oscilante de eje inferior que funciona mediante una palanca agarrada al pilar. En la zona del medio el sistema de obertura utilizado es el denominado a la francesa y se reparte entre dos batientes. La maneta para abrir la ventana se encuentra en la parte de la batiente más pequeña. La parte más grande queda cerrada con pasadores verticales internos, uno en la parte alta y otra en la parte baja. La franja de abajo es un vidrio fijo.

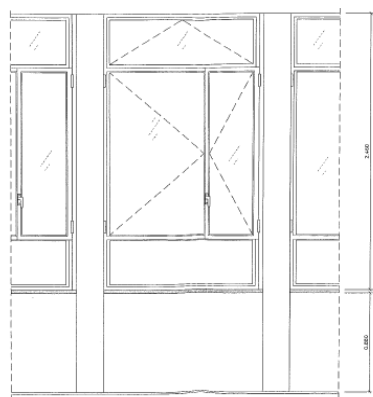


Figura 3.4: Ventana tipo 1

En las ventanas tipo 2 (T2), nos encontramos delante de las ventanas más pequeñas de todo el edificio, se encuentran colocadas en la planta -1, fachada A. Consta de dos batientes con sistemas de obertura oscilante de eje inferior.

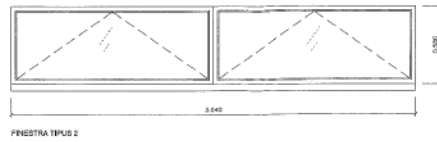


Figura 3.5: Ventana tipo 2

Las ventanas tipo 3 (T3) las encontramos al lado de las mencionadas anteriormente, planta -1, fachada A. El sistema de obertura utilizado es el denominado a la francesa y se reparten entre dos batientes y una parte fija al medio de estas dos batientes.

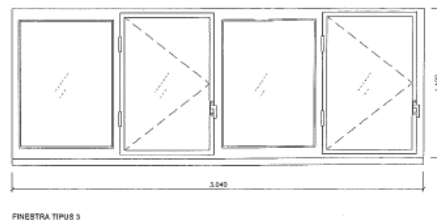


Figura 3.6: Ventana tipo 3

Las ventanas tipo 4 (T4) se encuentra también en la planta -1, fachada A. Consta de dos batientes con sistema de obertura a la francesa y dos parte fijas. Las batientes son más pequeñas que las partes fijas.

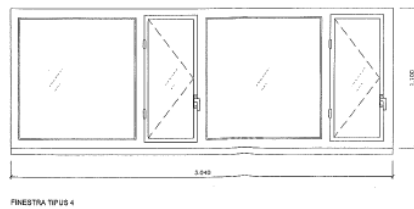


Figura 3.7: Ventana tipo 4

Las ventanas tipo 5 (T5) se encuentran también en planta -1, fachada A. Consta de dos batientes con sistema de obertura a la francesa y dos partes fijas. Las batientes son más pequeñas que las partes fijas. También hay una parte superior con obertura oscilante de eje inferior.

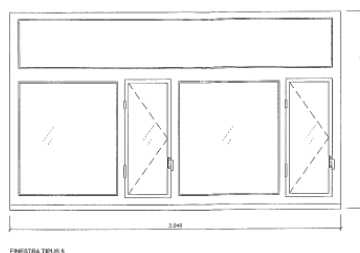


Figura 3.8: Ventana tipo 5

Las ventanas tipo 6 (T6) se encuentran en la planta -1, fachada C. Consta de dos batientes con sistemas de obertura a la francesa. Hay una parte superior con obertura oscilante de eje inferior

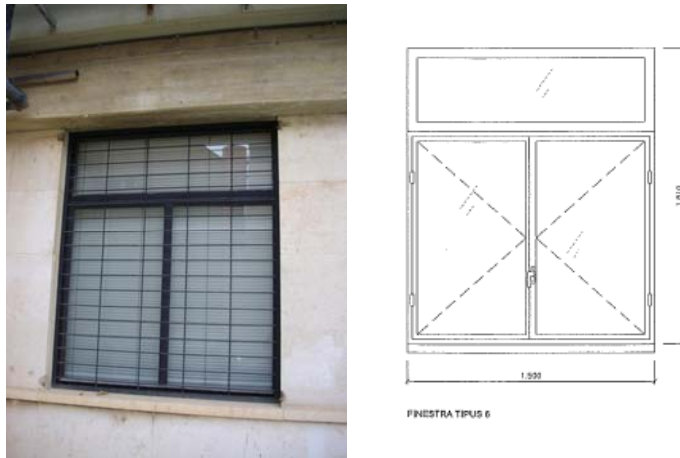


Figura 3.9: Ventana tipo 6

Todas las ventanas se construyeron con perfiles estrechos y con una alta superficie de vidrio. Cuando hablamos del factor térmico presentan un comportamiento poco aislante motivado principalmente por la propia conductividad del material metálico, acero, y los cerramientos y mecanismo de unión que permiten la entrada de aire y las fugas de calor.

3.3 Instalaciones

3.3.1 Calefacción

La generación de calor se realiza con 2 calderas estándar marca Ygnis modelo WA de potencia calorífica 650 KW, con rendimiento nominal del 85% alimentadas con gas natural como combustible, y con quemador de tiro forzado de 0.80 KW de consumo eléctrico. Estas calderas no funcionan bajo esquema de escalonamiento y solamente se regulan por control de temperatura de entrada y salida.



Figura 3.10: Cuarto de calderas EPSEB

El sistema se distribuye por 8 circuitos que alimentan a cada fachada (N, S, E y O) en 2 niveles; uno para las plantas inferiores (planta semisótano, la zona de talleres y aula máster, planta baja y primera) y el otro para las plantas superiores (plantas 2, 3 y 4). También hay 2 circuitos adicionales; uno para zonas comunes, y otro independiente para la sala de actos de la planta baja.

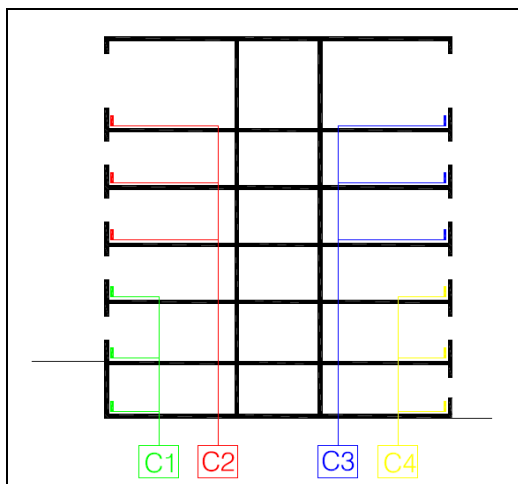


Figura 3.11: Esquema en sección transversal de circuitos de calefacción

Los emisores a nivel de cada local son radiadores de fundición de diferente nº de elementos, de potencia calorífica nominal desde 1.500 W hasta 2.840 W, montados sobre un circuito de agua caliente bitubular de cobre visto y sin aislamiento térmico.

La regulación del sistema de calefacción sólo se realiza a partir de la temperatura de entrada y retorno del agua del circuito a las calderas centrales.

Todo el sistema de generación y distribución se activa en días laborables a las 7h y funciona de forma continua, salvo interrupciones voluntarias. El apagado es a discreción de la conserjería sobre las 20 – 21 horas dependiendo la actividad del centro. No se tiene constancia de que se realice apagado selectivo de circuitos y el sistema se enciende y se apaga en su totalidad generando importantes despilfarros energéticos.

En cuanto a los emisores, no se utilizan válvulas termostáticas o aparatos de regulación automática y solamente se regula abriendo o cerrando la válvula de paso en el emisor correspondiente.

Se adjunta reportaje fotográfico de los diferentes radiadores del centro.



Figura 3.12: Emisores de calefacción

En el Anejo 2 se adjunta todos los consumos de gas anuales que nos ha facilitado la universidad..

3.3.2 Refrigeración

La demanda de refrigeración es atendida de forma individual en cada espacio del edificio con aparatos de ventana con potencias nominales de 3.600W y 2.320W respectivamente, y aparatos tipo Split o Bombas de Calor de diferentes marcas y referencias que tienen potencias nominales para refrigeración entre 2.400 – 3.600W.

La gestión y control de los parámetros de confort para estos aparatos se hace de forma individual en cada espacio.

De acuerdo a las políticas de la UPC respecto a la climatización de los espacios, que por el tipo de uso que tienen requieren de sistemas de calefacción y/o refrigeración, para el caso

de la EPSEB, se observa que todos los espacios que “requieren” sistema de calefacción lo disponen, y en el caso de la refrigeración sólo el 32,18% de los que la requieren están siendo atendidos:

| | SUPERFICIE | OBJETO |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| Espacios con refrigeración | 4.934,64 | 32,18% |
| Espacios sin refrigeración | 10.399,48 | 67,82% |
| Total | 15.334,64 | 100% |



Figura 3.13: Emisores de refrigeración

En el Anejo 3 se adjunta toda la documentación facilitada por el servicio de mantenimiento de la universidad.

3.3.3 Agua caliente sanitaria

En el edificio no dispone de agua caliente en los cuartos húmedos, solo hay instalada agua caliente sanitaria en los vestuarios de planta sótano, uso exclusivo de los trabajadores, y en la cocina del bar.

Los calentadores instalados en los vestuarios son eléctricos e instantáneos, de 6 KW

El calentador de la cocina es de gas y tiene una potencia de 3 KW



Figura 3.14: Calentador eléctrico y de gas

4 Realización ensayos.

Para poder conocer el intercambio de flujo a través de las ventanas, paredes y pilares del edificio se realizan ensayos en todas las orientaciones.

También es necesario conocer otros datos, como los niveles de iluminación, transmitancias térmicas de materiales, velocidad viento, para poder realizar los cálculos con los programas LIDER y CALENER.

Para ello hemos necesitado una serie de instrumentos de medición que se definen a continuación.

4.1 Instrumentos de medición.

Los instrumentos que se han utilizado para la han realizado de este proyecto final de grado

4.1.1 LI-19: Fluxómetro: es un aparato de lectura de sensores con registro de datos integrado. Puede ser utilizado para sensores con una señal de salida muy baja.

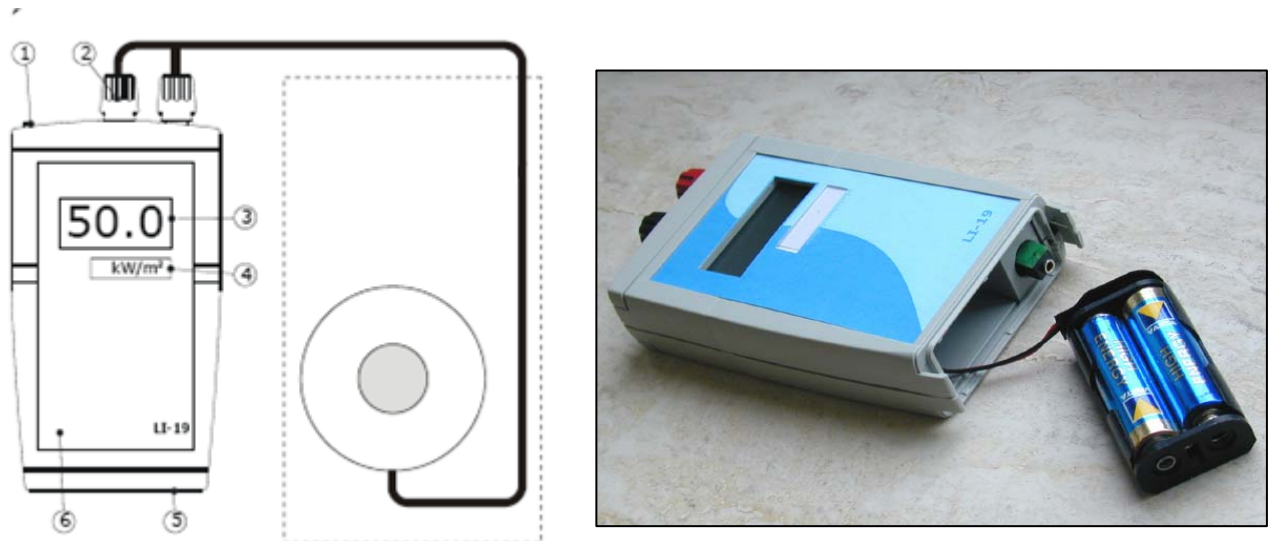


Figura 4.1: Fluxómetro

La sensibilidad del sensor puede ser programada en el LI-19 de manera que los datos se obtienen en unidades de ingeniería, en lugar de milivoltios (mV) o microvoltios (μV). En nuestro caso necesitamos que traduzca los mV a W/m^2 .

El intervalo de almacenamiento y el tiempo de inicio son programables a través de la interfaz USB. Al final del intervalo de almacenamiento, como mínimo, se almacenan los valores de medición máxima y media. Mediante el LI-19U se obtiene una gráfica de los W/m^2 a lo largo de toda la medición y se pueden extraer los datos en formato xlm.

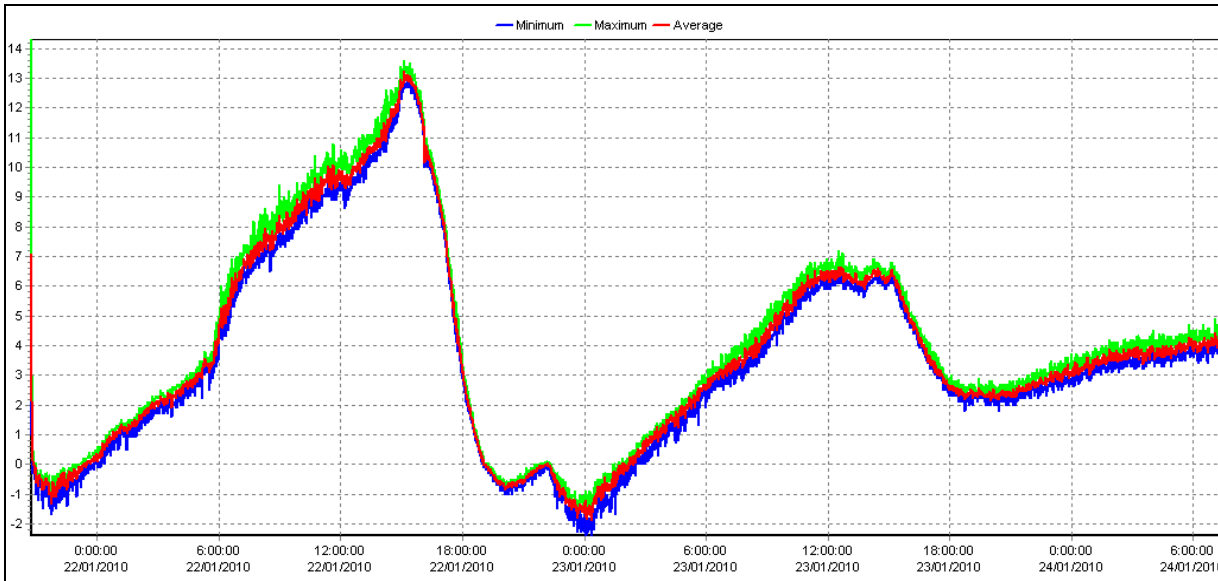


Figura 4.2: Gráfica tipo de flujo en pared

4.1.2 Testo 175-H2. Medidor de Temperatura y humedad, tiene 2 canales con sensores internos.



El Testo registra datos de temperatura y humedad del espacio, interior o exterior, donde se coloca.

Se puede programar tanto el día como la hora de inicio y final de la medición.

Figura 4.3: Testo 175

4.1.3 Testo 635-2. Es un instrumento de medición que dependiendo de la zona que se le aplique permite determinar diferentes parámetros físicos como son el grado de humedad, velocidad viento y transmitancias.



En el instrumento de medición Testo 635-2 se pueden visualizar los datos de hasta 3 sondas de temperatura o humedad; la transmisión de los datos de medición se efectúa por radio, sin necesidad de cables.

Se ha utilizado para conocer la transmitancia de diferentes materiales del edificio estudio, como son, paredes y vidrios... y la velocidad del viento.

Se le pueden añadir varias sondas, nosotros hemos utilizado dos que se explican a continuación.

Figura 4.4: Testo 365-2



Se realizaron ensayos, como en la foto adjunta, en las diferentes paredes de la planta 4. Solo nos fue posible realizar los ensayos ahí porque son los únicos que tienen una zona exterior accesible donde colocar el termómetro inalámbrico.

Se realizaron ensayos en el Aula 4.2 y en el bar para comparar las transmitancias obtenidas con las calculadas con el LI-19. Más adelante se adjuntan los datos

Figura 4.5: Sonda temperatura

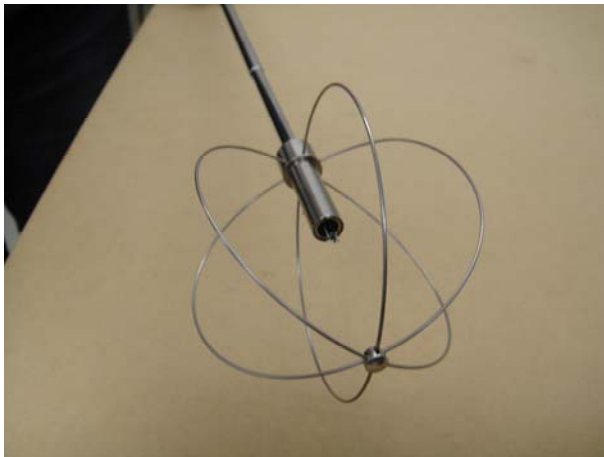


Figura 4.6: Sonda 2- Anemómetro



4.1.4 Termopar (Center 309 Datalogger thermometer)



Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas.

Figura 4.7: Datalogger Thermometer

El termopar empleado es del Tipo K (Cromo (Ni-Cr) Chromel / Aluminio (aleación de Ni -Al) Alumel): con una amplia variedad de aplicaciones. Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1.372^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox. Posee buena resistencia a la oxidación.

4.1.5 Cámara termográfica (FLIR. Modelo: InfraCAM)

Una cámara térmica es un dispositivo capaz de formar imágenes visibles a partir del espectro electromagnético infrarrojo medio.

Estas cámaras operan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, que se considera entre $3\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$.

La cámara térmica detecta anomalías térmicas y evita fallas eléctricas y mecánicas.

Tiene incorporado un laser LocatIR™ que ayuda a asociar, de forma rápida, el punto crítico de la imagen infrarroja con el objeto físico real, es más fácil localizar las irregularidades.

Se ha utilizado para detectar posibles puentes térmicos en las diferentes fachadas del edificio objeto de estudio.



Figura 4.8: Cámara termográfico



Figura 4.9: Foto fachada EPSEB

4.1.6 Medidor de iluminación



Es un instrumento que permite medir la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en un display.

La unidad de medida es lux (lx).

Se ha utilizado para conocer la iluminación de los diferentes espacios en que se divide el edificio objeto de estudio, estos datos se han introducido en el programa LIDER.

Figura 4.10: Medidor Lux

4.2 Fundamentos teóricos.

Las condiciones térmicas de un espacio habitado son consecuencia del intercambio de calor entre el interior del edificio y el exterior. Este intercambio se produce por mecanismos de radiación, conducción, convección y disipación por renovación de aire. Es de gran importancia la transmitancia térmica de la piel del edificio.

El flujo de calor, que denominamos H , es la cantidad de calor que atraviesa una superficie unitaria por unidad de tiempo, y se mide en W/m^2 .

Se denomina transmisión de calor por radiación cuando la superficie del cerramiento intercambia calor con el entorno, mediante la absorción y emisión de energía a través de ondas electromagnéticas. En la radiación el calor se transmite a través del vacío, atravesando un medio transparente que es el aire.

$$H = h_r (T - T_a)$$

Siendo:

T : temperatura del objeto

T_a : temperatura del aire ambiente.

h_r : coeficiente de transferencia de calor por radiación. $h_r = 4\varepsilon\sigma T^3$

ε : emitancia. Valor constante de cada material

σ : Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$

Se denomina transmisión de calor por convección al proceso de transmisión originado por el movimiento de capas de fluido. Se produce una mezcla que tiende a uniformizar la temperatura.

$$H = h_c (T - T_a)$$

Siendo:

T : temperatura de la superficie

T_a : temperatura del aire

h_c : coeficiente de convección en W/m^2K

La convección depende entre otras cosas de la velocidad del aire. Para edificios sometidos al viento a velocidad (v) existen dos formulas empíricas dependiendo de la orientación respecto al viento:

$$h_c = 5 + 4,5v - 0,14v^2 \quad (\text{fachada barlovento})$$

$$h_c = 5 + 1,5v \quad (\text{fachada sotavento})$$

En el caso de un edificio puede considerarse una combinación de estos dos fenómenos explicados anteriormente.

$$H = h(T - T_a)$$

Siendo:

T : temperatura de la superficie

T_a : temperatura del aire

h : coeficiente superficial de transmisión de calor que tiene en cuenta convección y radiación.

En los cálculos simplificados, tales como el cumplimiento del CTE, se considera la transmisión global de calor que intercambia la superficie con el entorno mediante convección y radiación, en un régimen estacionario sin radiación solar.

Los parámetros fundamentales que se utilizan para el cálculo simplificado del valor del coeficiente h son:

- La dirección del flujo de calor (horizontal, ascendente, descendente)
- La velocidad del aire. Se distingue.
 - Ambientes interiores, con el aire casi en reposo
 - Ambientes exteriores, con el viento con una velocidad de proyecto típica de invierno, en torno a los 3m/s

Nota. No se consideran algunos factores que influyen en el proceso físico como la velocidad exacta del aire.

Para realizar el cálculo de resistencias térmicas superficiales el CTE DB-HE-1 utiliza los siguientes valores.




| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor | | Rse | Rsi |
|---|--|------|------|
| 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 |

Figura 4.11: Resistencia térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2k/W

Se denomina transmisión de calor por conducción cuando se efectúa por interacción entre átomos o moléculas. Es más importante en sólidos que en líquidos.

Conducción en régimen estacionario a través de una pared.

Consideramos una pared homogénea, de espesor e, y se mantienen constantes las temperaturas de las dos caras ($T_1 > T_2$).

Al cabo de un cierto tiempo se establece un régimen estacionario, en el cual:

- El flujo de calor por unidad de superficie (H) es constante
- Las temperaturas en el interior de la pared siguen un comportamiento lineal

$$T = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{e} x$$

El flujo de calor por unidad de superficie (H) viene dado por la expresión:

$$H = \lambda + \frac{T_2 - T_1}{e}$$

λ : coeficiente de conductividad térmica, indica la facilidad del material para conducir la energía térmica

La pérdida de calor es proporcional a λ y por ello los materiales aislantes tienen que tener este coeficiente tan pequeño como sea posible.

Si consideramos un elemento formado por varias capas, como una pared multicapa.

Sabiendo que la resistencia térmica superficial es $R = \frac{1}{h}$ hallaremos la R_T , aplicando la siguiente fórmula:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + R_1 + R_2 + R_n \dots$$

Siendo: R_{si} y R_{se} : Resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior, tomadas de la tabla E1 del CTE. (Figura 4.11)

R_1, R_2, \dots : Resistencia térmica de cada capa $R = \frac{e}{\lambda}$

Siendo: e = Espesor de capa
 λ = Conductividad térmica

Todo lo especificado anteriormente es para regímenes estacionarios, solo es válido cuando las temperaturas interior y exterior se mantienen constantes. En realidad a lo largo del día se dan variaciones en la temperatura exterior, por ejemplo:

A lo largo del día aumenta la temperatura exterior por encima de la interior, penetrando el calor, mientras por la noche ocurre el fenómeno opuesto.

Es importante conocer cómo se comportan los cerramientos en régimen transitorio u por este motivo se ha realizado un protocolo experimental que se explica en el apartado siguiente.

4.3 Protocolo experimental

Para poder conocer el comportamiento térmico del edificio se han realizado una serie de ensayos en todas las fachadas. Se ha ensayado la variación del flujo a través de los vidrios, paredes y pilares del edificio.

El ensayo consiste en colocar un fluxómetro en el paramento a ensayar que va registrando la pérdida o ganancia de flujo de calor a lo largo del día.

Posteriormente se descargan los datos del aparato y se evalúan los resultados. Cuando el flujo es positivo significa que hay una pérdida de calor del espacio donde se realiza el ensayo hacia el exterior. En cambio si el flujo es negativo quiere decir que hay una aportación de calor del exterior al interior.

Todos los ensayos se adjuntan en el Anejo 1 en unas fichas que incluyen toda la información; día, situación, orientación, temperatura media interior y exterior, velocidad del viento y radiación solar.

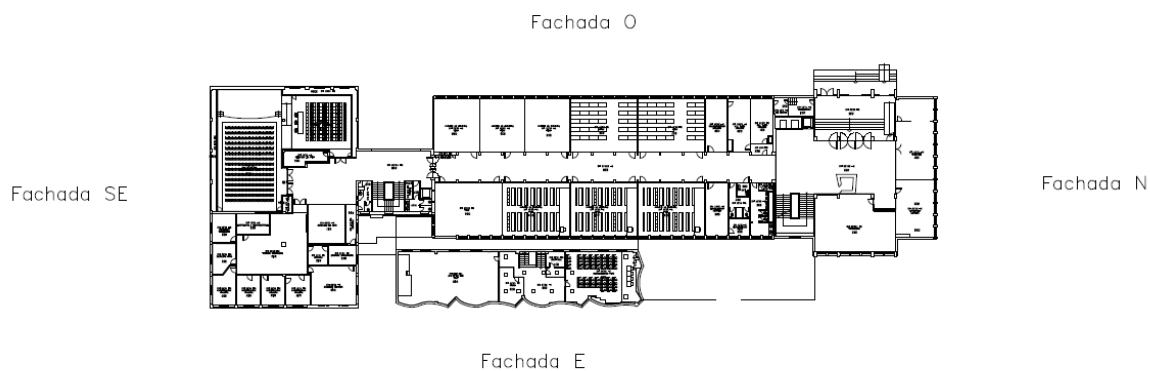


Figura 4.12: Planta edificio

Para realizar las mediciones se ha colocado el fluxómetro pegado al paramento vertical y se ha utilizado un Testo 175-H2 para registrar la temperatura interior del aula donde se hacía la medición. Los datos de la temperatura exterior, radiación solar y velocidad del viento se extraen de la página web: www.meteo.cat, concretamente de la estación meteorológica de la facultad de física de la universidad de Barcelona, la más cercana.

Todos los aparatos se han dejado un mínimo de 24 horas, para poder observar las variaciones del flujo a lo largo del día, a la vez que lo hacen las condiciones ambientales.

4.4 Comparativa de flujo en diferentes elementos.

Como se ha comentado anteriormente se han realizado ensayos en diferentes elementos, en total han sido:

Tabla 4.1: Resumen ensayos

| Fachada | Norte | Oeste | Este | Sureste | |
|--------------------------|-------|-------|------|---------|-----------|
| Vidrio | 8 | 10 | 5 | 4 | 27 |
| Vidrio + persiana | 3 | 5 | 3 | 0 | 11 |
| Pared | 5 | 5 | 1 | 0 | 11 |
| Pilar | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |

Algunos de los ensayos fueron fallidos, debido a errores en el registro de los datos, mala adherencia del sensor a los diferentes paramentos... Todos los ensayos se adjuntan en el Anejo 1.

4.4.1 Vidrio simple

En primer lugar vamos a analizar la pérdida de flujo de calor a través de un vidrio simple

A continuación se adjuntan las gráficas de dos ensayos en vidrio simple pero diferentes fachadas, una en la que incide el sol la mayor parte del día, fachada Oeste, y otra en la que prácticamente no incide el sol, fachada Norte.

En la gráfica 13 se observa en el eje izquierdo, en azul, el flujo (W/m^2) y en el eje derecho la temperatura interior ($^{\circ}C$), en rojo, y exterior ($^{\circ}C$), en verde.

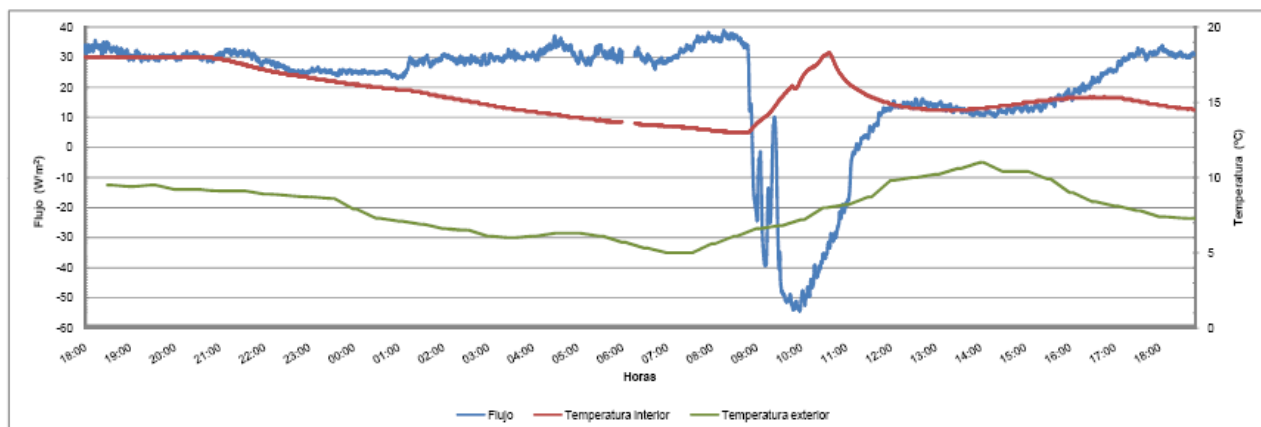
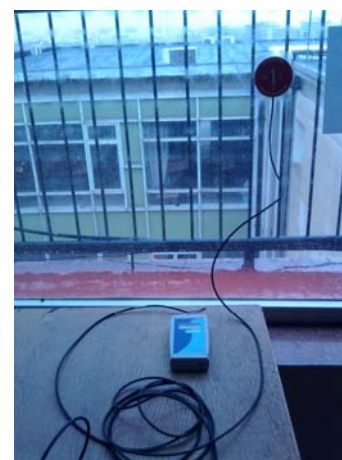


Figura 4.13: Gráfica 13. Fachada Oeste. 5 enero 2010

Como vemos el flujo al principio es más o menos constante, en torno a los 20 y 40 W/m^2 , ya que la diferencia de temperatura interior y exterior se mantiene constante, sobre las 9 de la mañana hay una variación de temperaturas que hace que varíe también el flujo, llegando casi a los $-60W/m^2$.

Esta subida de temperatura coincide con la salida del sol y la incidencia de este directamente sobre el vidrio, lo que provoca una subida de temperatura del vidrio y por tanto un flujo negativo.

En la gráfica siguiente se representa la radiación solar (W/m^2) en color morado en el eje izquierdo. En el eje derecho se representa la velocidad del viento (m/s) en color naranja, más adelante se justificará la influencia de este dato en el estudio.

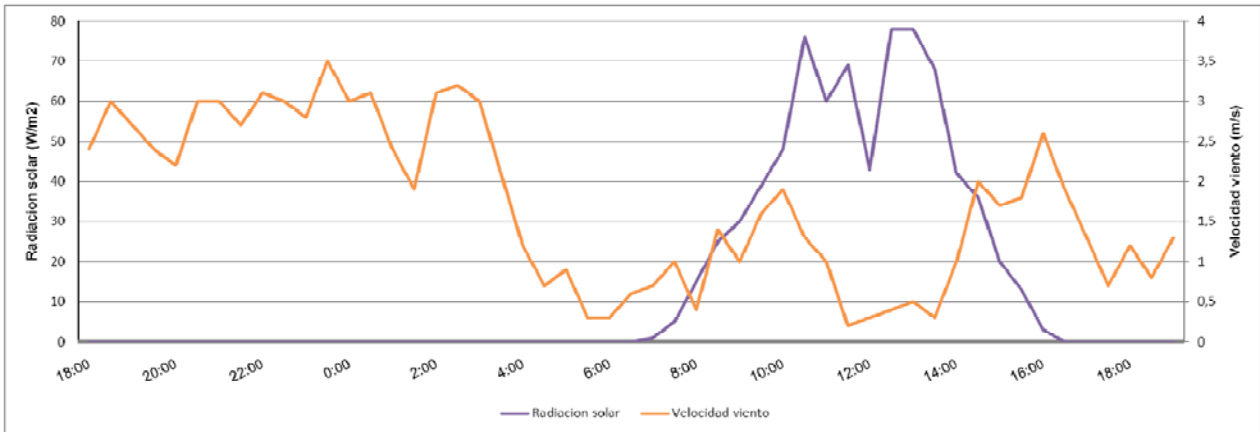


Figura 4.14: Radiación solar y velocidad viento. 5 enero 2010

Ahora analizamos la gráfica de un vidrio en la fachada Norte, donde no hay incidencia del sol. Como vemos, en este caso, el flujo es mucho más estable. La diferencia de temperatura interior y exterior se mantiene constante a lo largo del día.

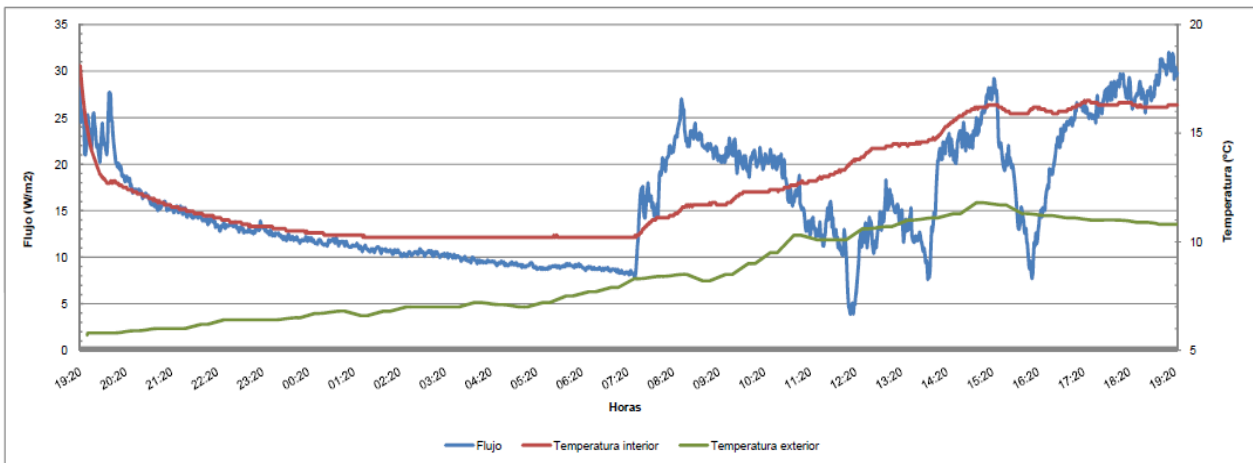


Figura 4.15: Gráfica 4. Fachada Norte. 15 febrero 2010

En cuanto a la radiación solar, aunque en este caso es mayor, alcanzando los $200 W/m^2$, si tenemos en cuenta la orientación de la fachada vemos que no influye.

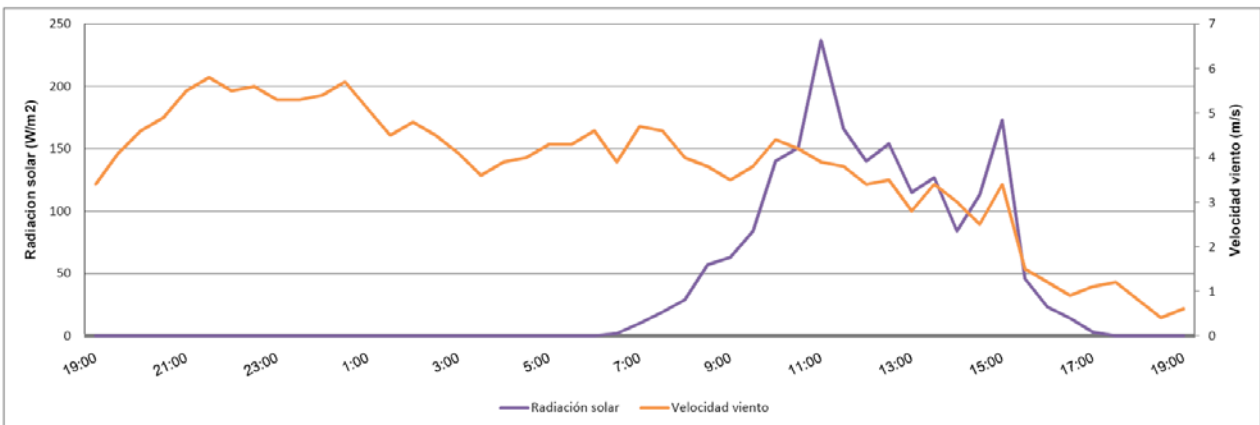


Figura 4.16: Radiación solar y velocidad viento. 15 febrero 2010



A continuación vemos un ensayo doble, realizado el mismo día, y en el mismo espacio, uno en el vidrio con la persiana subida y otro en el vidrio con la persiana bajada, como se ve en la foto de la izquierda. (fachada Este)

Analizamos el ensayo en la fachada este, donde incide el sol a primera hora de la mañana.

Como se ve en la siguiente gráfica la diferencia de flujo entre los dos vidrios es de unos 120W/m^2 , mientras que en la fachada norte es de 20W/m^2 .

Esta fachada tiene una incidencia directa del sol entre las 7h y las 11h de la mañana, que genera una variación brusca del flujo en el vidrio con la persiana subida, alcanzando los -130W/m^2 , mientras que el vidrio con la persiana bajada se mantiene constante.

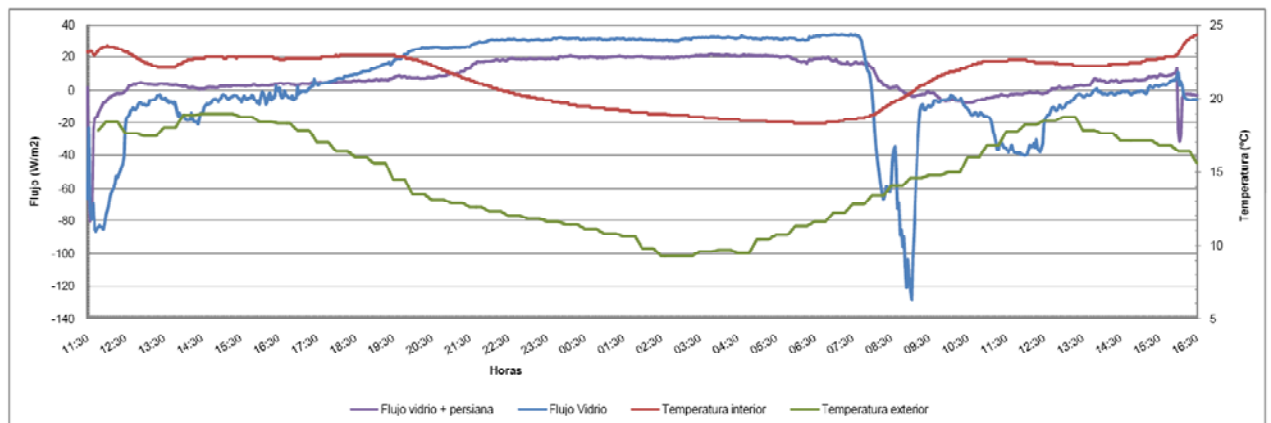


Figura 4.19: Gráfica 25. Fachada Este

En esta gráfica podemos ver que cuando las temperaturas interior y exterior se acercan el flujo de calor tiende a 0.

Como en el resto de los casos se añade a continuación la gráfica de velocidad de viento y radiación solar.

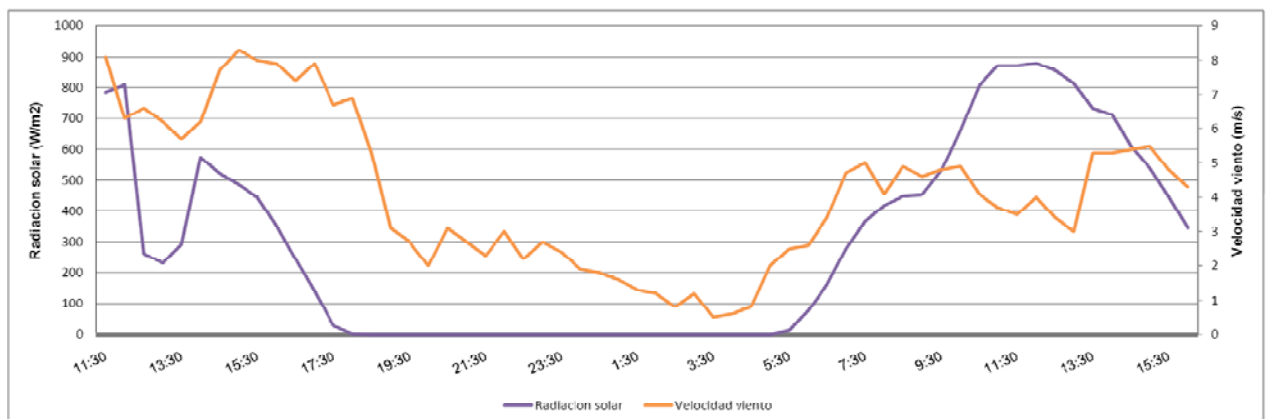


Figura 4.20: Radiación solar y velocidad viento

A continuación analizamos el mismo tipo de comparativa pero en la fachada Norte. En color azul el flujo (W/m^2) del vidrio sin persiana y en color morado el flujo (W/m^2) del vidrio con persiana, realizado en la fachada Norte.

Se observa que durante las horas nocturnas hay mayor pérdida de flujo en el vidrio sin persiana, mientras que durante el día el vidrio con persiana tiene mayores pérdidas, o lo que es lo mismo evita que el flujo sea en sentido inverso, es decir, que haya aportación de calor desde el exterior.

Observando la gráfica podemos corroborar que durante la noche es recomendable dejar las persianas bajadas ya que evitan que haya una pérdida del calor de la estancia. Mientras que durante el día, en invierno sería recomendable subir las persianas para aprovecharnos del calor o radiación solar exterior.

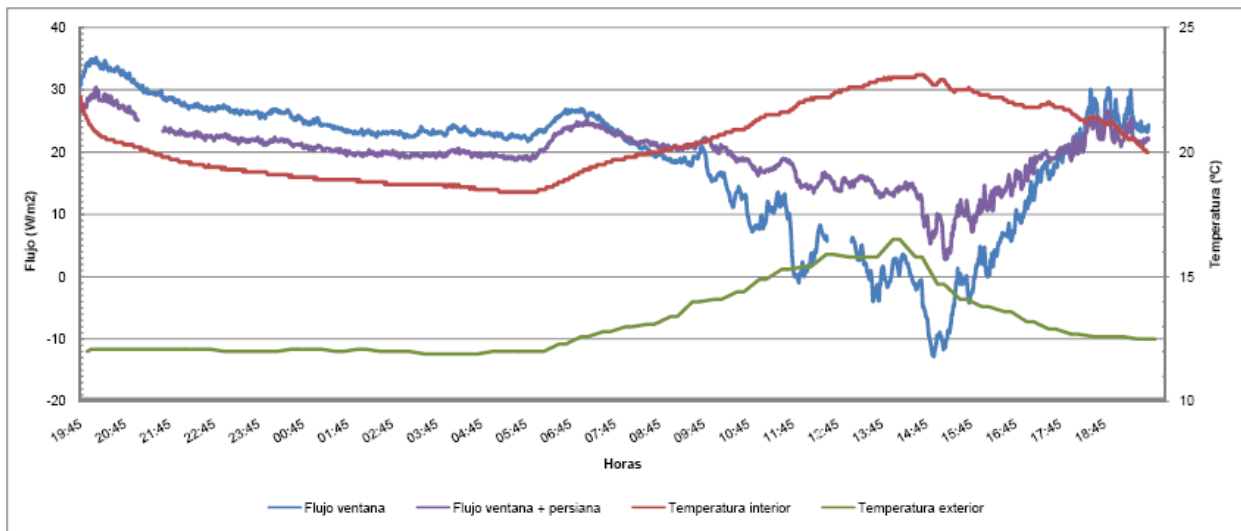


Figura 4.17: Gráfica 5. Fachada Norte

En esta gráfica volvemos a ver que coincide el aumento de la radiación solar con la variación del flujo, que en este caso al ser fachada norte no es tanto por la incidencia directa sobre el vidrio sino por cómo afecta a la temperatura exterior e interior.

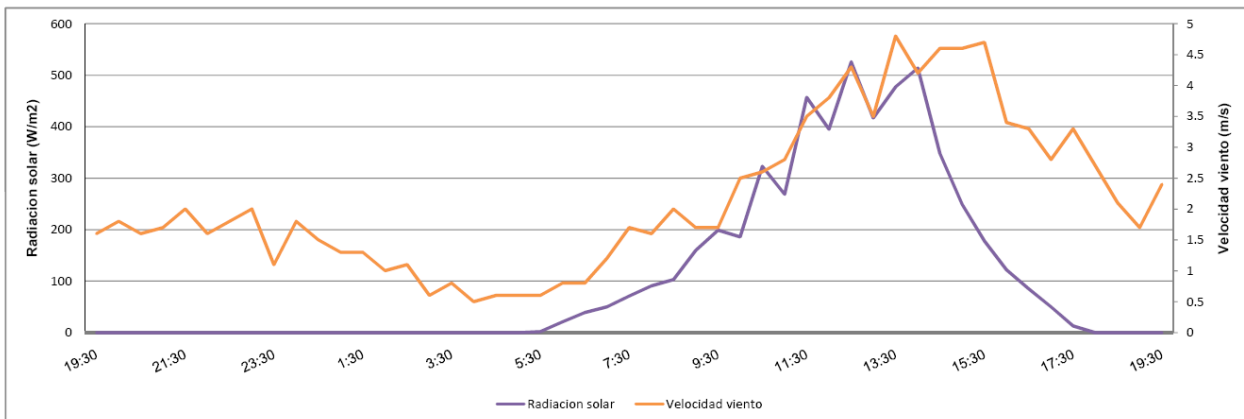


Figura 4.18: Radiación solar y velocidad viento

4.4.2 Vidrio simple y vidrio doble existente



Se realizó un ensayo en la biblioteca para poder comparar los dos tipos de vidrios que tienen instalados.

Se colocó un sensor en la ventana de vidrio doble con cámara de 4/12/4mm de la planta 1, y otro en la ventana de vidrio simple de 6mm de la planta 2.

En la gráfica vemos en el eje izquierdo los dos flujos (W/m^2), en color morado el vidrio simple y color azul el vidrio doble. En el eje de la derecha se ven la temperatura interior ($^{\circ}C$), en color rojo, y la temperatura exterior ($^{\circ}C$), en color verde.

Como podemos ver los dos flujos mantienen el mismo trazado, la diferencia es que en el vidrio doble se comporta mejor ante las pérdidas o ganancias de flujo, es decir, durante la noche reduce las pérdidas de calor (interior-externo) y durante el día reduce las ganancias de calor (exterior-interior).

Como se puede observar la diferencia entre los dos vidrios no es muy representativa, como veremos más adelante la verdadera diferencia se observa con los nuevos vidrios dobles.

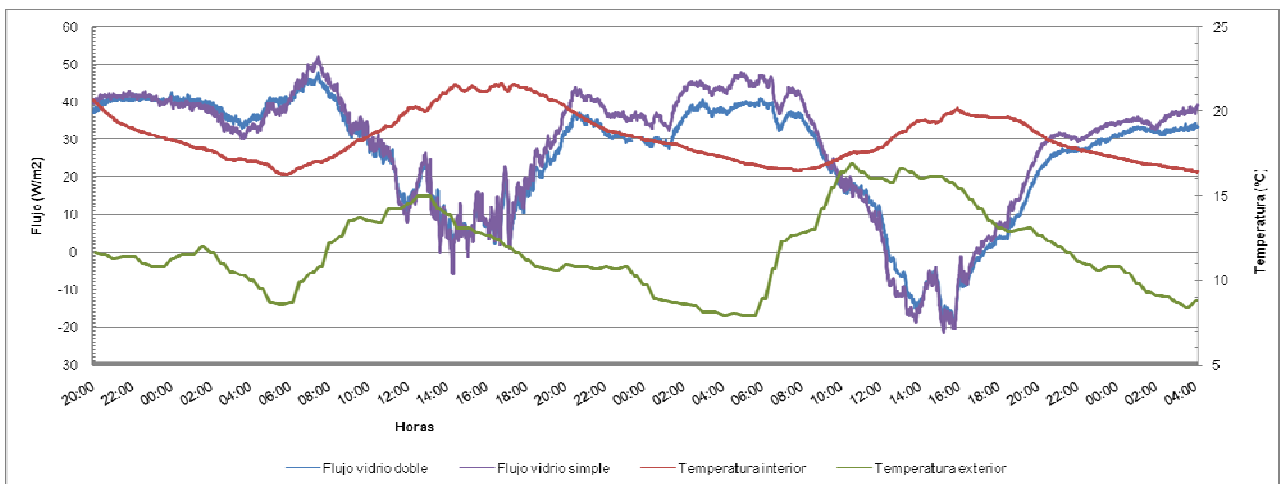


Figura 4.21: Gráfica 31. Fachada Norte

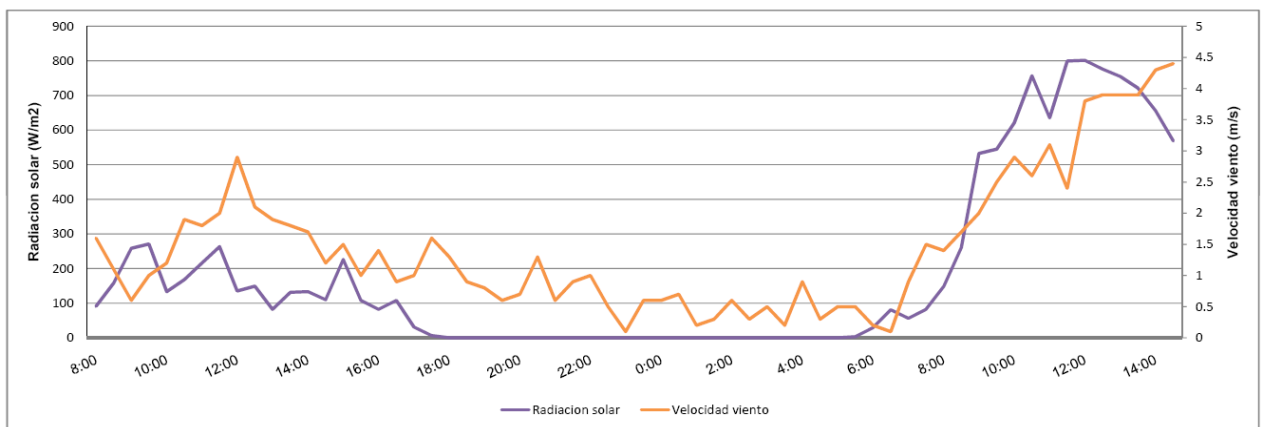


Figura 4.22: Radiación solar y velocidad viento

4.4.3 Vidrio simple existente y vidrio nuevo



Tal y como se ha explicado en el capítulo 2 las carpinterías del edificio son metálicas y presentan deficiencias tanto en estanqueidad, aislamiento térmico, acústico y seguridad.

Por ello recientemente se tomó la decisión de cambiar las carpinterías del edificio por unas nuevas de doble vidrio con cámara 3+3/10/3+3 mm.

Se realizó un ensayo en el Departamento de matemáticas el mismo día en una ventana original del edificio y una nueva.

Como vemos en la gráfica siguiente la mejora es notable.

En el eje izquierdo, en color azul vemos el flujo (W/m^2) del nuevo vidrio doble, y en color morado el vidrio simple existente. En el eje derecho, en color rojo vemos la temperatura interior ($^{\circ}C$) y en verde la temperatura exterior ($^{\circ}C$).

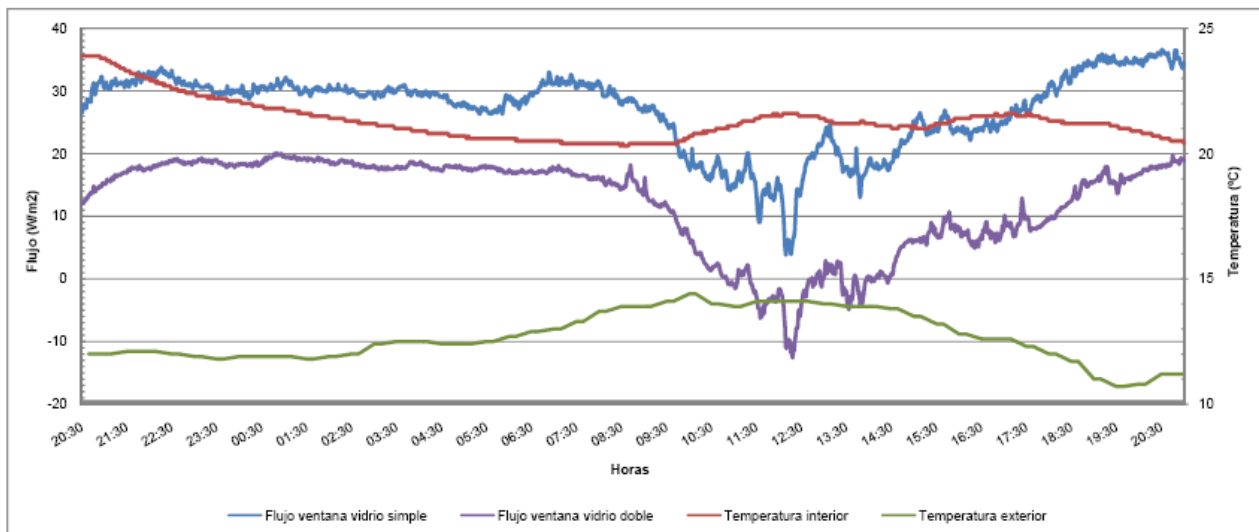


Figura 4.23: Gráfica 18. Fachada Oeste

Como vemos en la gráfica los dos flujos tienen el mismo trazo pero con el nuevo vidrio se evitan unas pérdidas de alrededor de $20W/m^2$, lo que directamente se traduce en ahorro energético en consumo de calefacción.

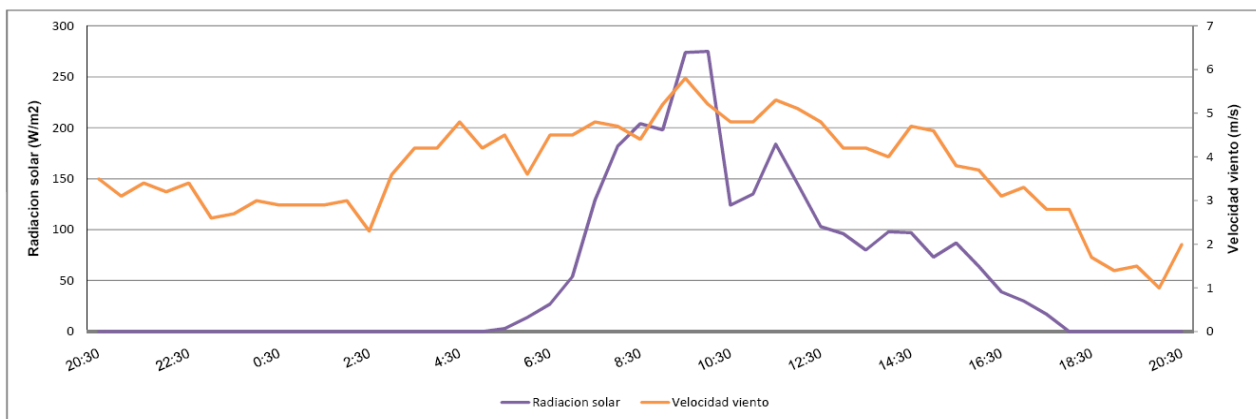


Figura 4.24: Radiación solar y velocidad viento

4.4.4 Transmisiones a través de elementos opacos

A la vez que se han estudiado los vidrios se han realizado comprobaciones en elementos opacos, como pilares y paredes bajo ventana.

Pared y pilar

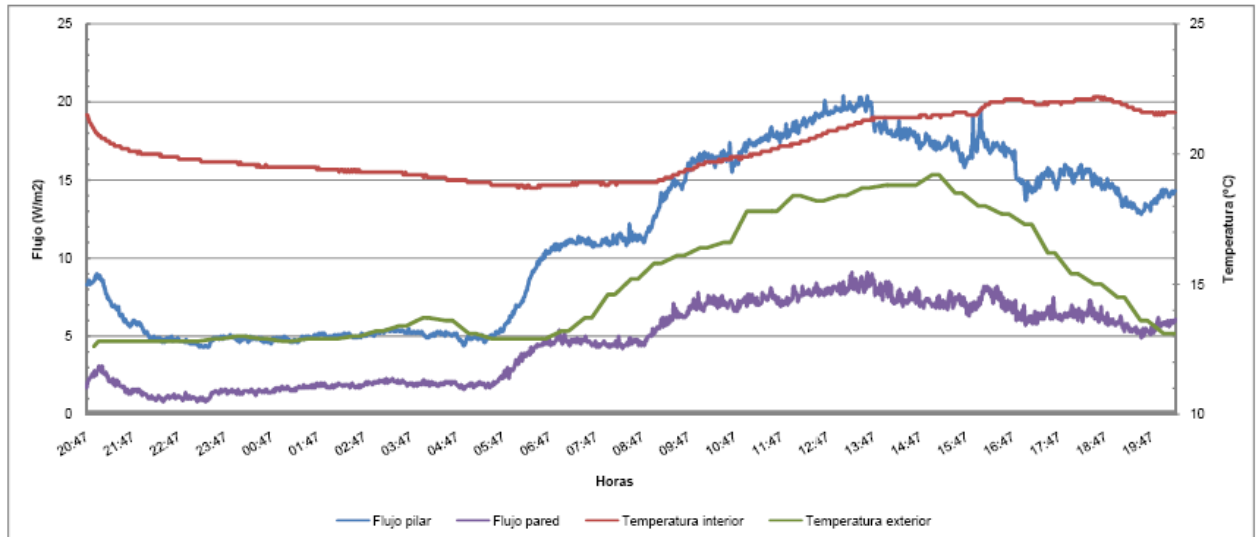


Figura 4.25: Gráfica 30,37. Fachada Norte

Se realizó un ensayo el mismo día en un pilar y en la pared bajo ventana. Como vemos en la gráfica anterior el trazo del flujo es el mismo, pero hay mayores pérdidas de flujo a través del pilar que de la pared bajo ventana.

Esto es debido a que la pared es un elemento multicapa, existiendo una cámara de aire que reduce la transmisión térmica, mientras que el pilar es un elemento macizo de hormigón sin ningún tipo de aislamiento.

Para conocer las diferencias de transmisión térmica entre un elemento y otro se han calculado las transmitancias ($W/m^2\text{°C}$), tanto por el método experimental como a través de la base de datos del programa LIDER, obteniendo los siguiente resultados

Tabla 4.2: Transmitancias pared y pilar

| | Transmitancia ensayo | Transmitancia Testo | Transmitancia teórica |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Pared bajo ventana | 1,25 | 1,406 | 1,38 |
| Pilar | 3,04 | - | 3,10 |

Podemos ver que la transmitancia a través del pilar es del doble que a través de la pared.

Según el CTE la transmisión máxima para la zona climática C2 que se permite a través de estos elementos es $0,95 W/m^2\text{°C}$. Con estos datos podemos intuir que el resultado del cálculo energético de la piel del edificio no será bueno y que posiblemente podría ser un punto de intervención para la mejora energética.

4.5 Comparativa de coeficientes de transmisión teóricos con los obtenidos experimentalmente

Después de realizar todos los ensayos anteriormente expuestos nos planteamos comprobar si el flujo real coincidía con el flujo teórico. Para ello calculamos el flujo teórico de varios ensayos y vimos que en algunas horas se aproxima pero que sobre todo en las horas que hay sol varía muchísimo.

Tal y como se explica en el capítulo 4.2 se calcula la transmitancia de los vidrios.

En nuestro caso tenemos un vidrio simple de 6mm. Calculamos la U teórica.

La mejor manera para medir la resistencia superficial exterior.

$$R = 0,13 + 0,04 + \frac{0,006}{1} = 0,176$$

$$U = \frac{1}{0,176} = 5,68 \frac{W}{m^2k}$$

Teniendo el valor de U podemos calcular el flujo teórico de nuestros vidrios y compararlos con los obtenidos en los ensayo

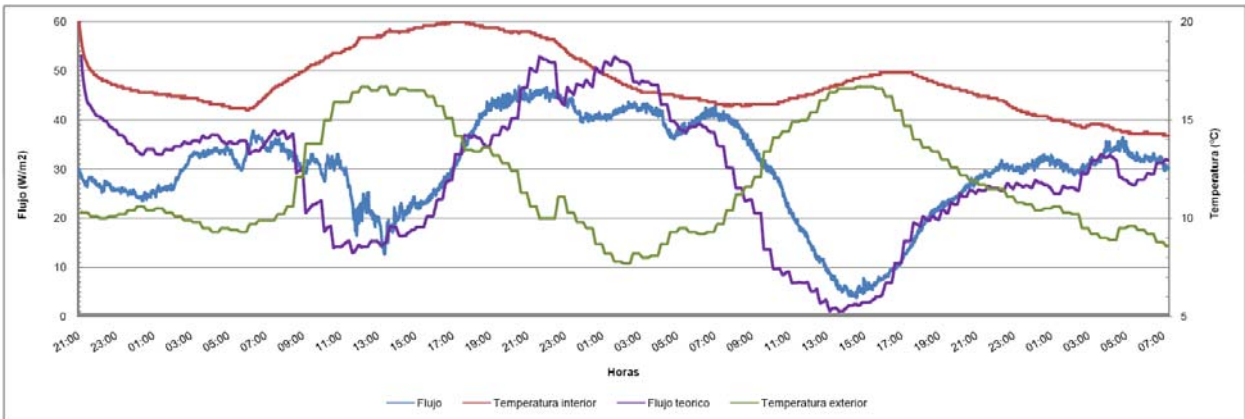
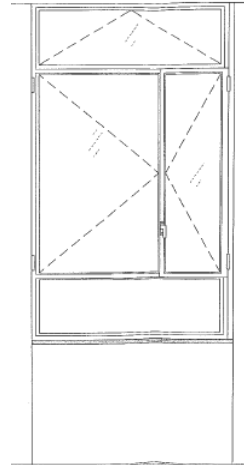


Figura 4.27: Fachada Norte. Vidrio simple Biblioteca.

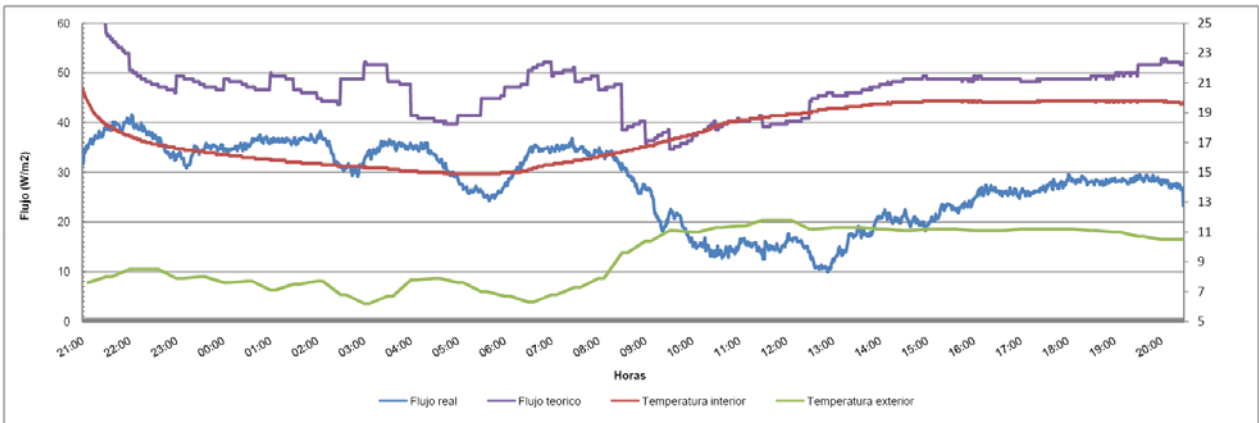


Figura 4.28: Fachada Oeste. Vidrio simple Aula 4.2.

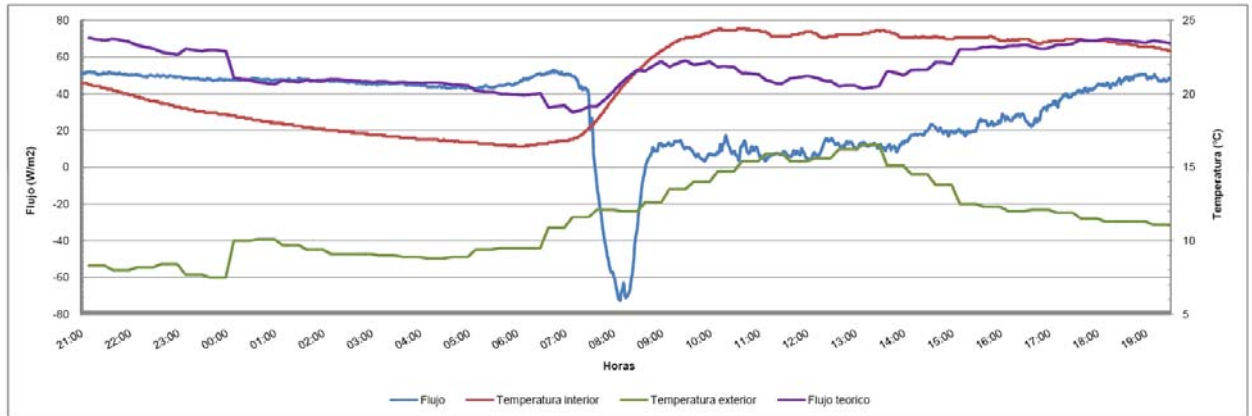


Figura 4.29: Fachada Sureste. Vidrio simple Servicios informaticos.

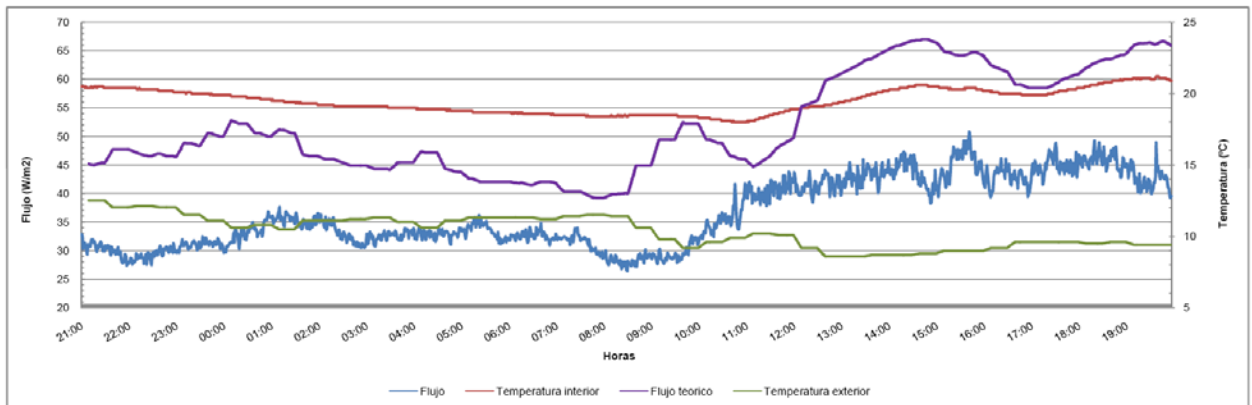


Figura 4.30: Fachada Este. Vidrio simple Delegación estudianten.

Como vemos el flujo que obtenemos mediante los ensayos es muy diferente del flujo teórico, lo que nos lleva a pensar que tal vez los valores que da el Código Técnico de la Edificación para R_{si} y R_{se} ($0,13$ y $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$) no sean reales, por lo que pasamos a comprobar dichos valores.

Recalculamos los valores R_{si} , R_{se} , mediante el ensayo nº 26. (Ver anejo 1), realizado en un vidrio simple de la fachada Oeste. Ese día colocamos dos medidores de flujo, uno en vidrio y otro en vidrio con persiana. También se colocaron 5 termopares, tal y como se ve en la figura siguiente.

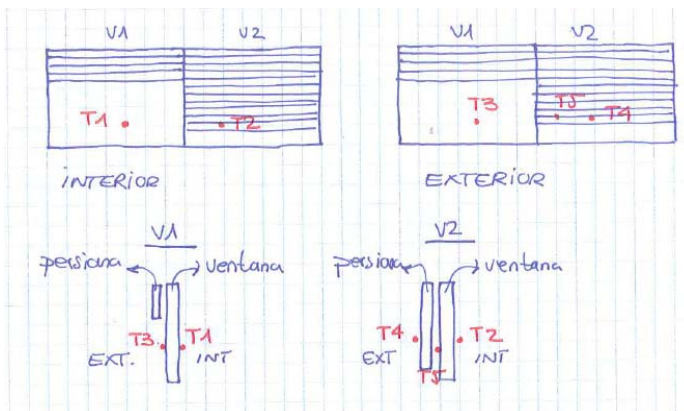
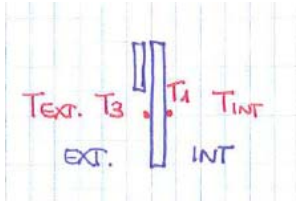


Figura 4.31: Colocación de sensores y termopares.

Con los siguientes datos extraídos del ensayo calculamos los valores de R_{si} y R_{se}



Temperatura ambiente interior. Obtenida mediante Testo 175-H2
 Temperatura ambiente exterior. Obtenida mediante Testo 175-H2
 T1: temperatura vidrio interior. Obtenida mediante termopar
 T3: temperatura vidrio exterior. Obtenida mediante termopar.

$$R_{si} = \frac{T_{int} - T_1}{Flujo} \qquad R_{se} = \frac{T_3 - T_{ext}}{Flujo}$$

Calculamos estos valores durante la noche (23:00h-7:00h) y vemos que la R_{si} se aproxima al valor dado por el CTE, mientras que el R_{se} se desvía considerablemente, siendo aproximadamente el doble del considerado en el CTE.

R_{si} media = 0.13 m²°K/W
 R_{se} media = 0.083 m²°K/W

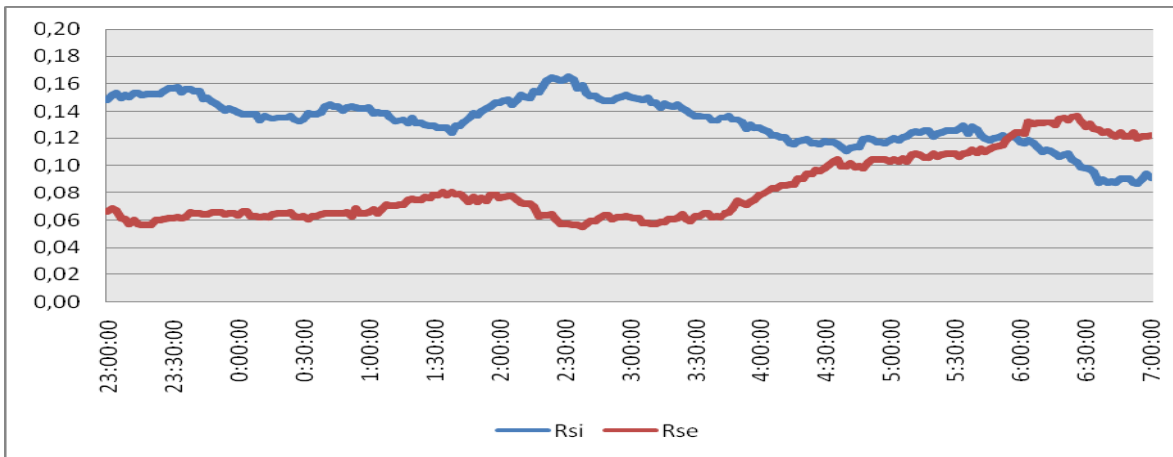


Figura 4.32: R_{se} i R_{si}

Recalculamos la U con los datos obtenidos del ensayo:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + R_1$$

$$R = 0,13 + 0,08 + \frac{0,006}{1} = 0,216 \text{ m}^2\text{°K/W}$$

$$U = \frac{1}{0,216} = 4,51 \frac{W}{m^2\text{°K}}$$

Teniendo el valor de U podemos volver a calcular el flujo teórico de nuestros vidrios y compararlos con los obtenidos en los ensayos.

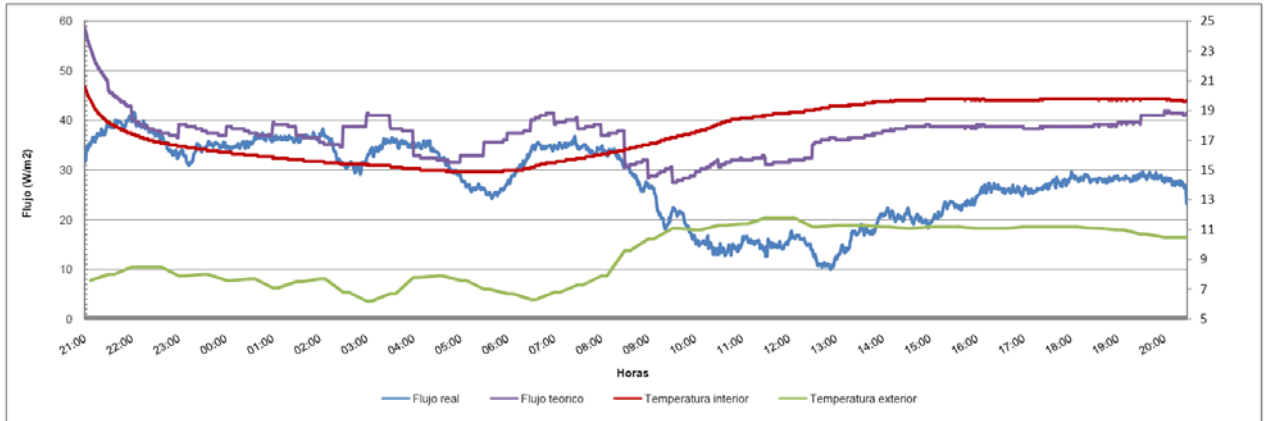


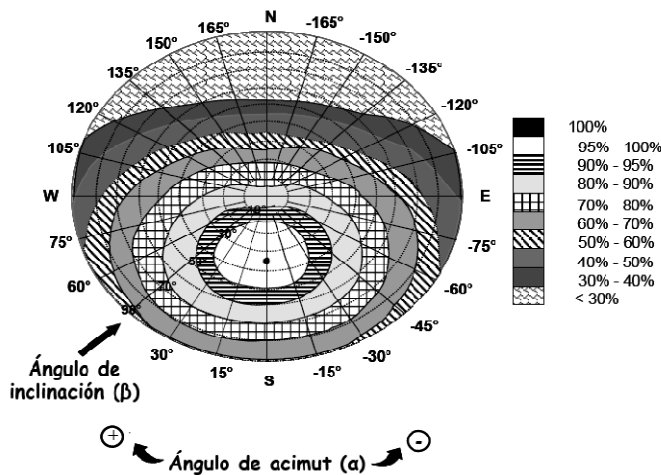
Figura 4.33: Fachada Oeste. Vidrio simple Aula 4.2

Como se observa en la gráfica todavía hay una diferencia entre el flujo teórico y el flujo real del ensayo, es evidente que la radiación solar influye en el flujo, ya que la diferencia es mayor en las horas donde hay incidencia del sol.

Volvemos a calcular el flujo teórico teniendo en cuenta además de la temperatura exterior la radiación solar. Para ello se ha de tener en cuenta una reducción de la radiación solar tanto por orientación como por inclinación.

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- a) ángulo de inclinación, β definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales;
- b) ángulo de acimut, α definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.



| Orientación | Captación |
|-------------|-----------|
| Norte | 30% |
| Sureste | 50-60% |
| Sur | 60-70% |
| Oeste | 30-40% |

Figura 4.34: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

La radiación solar la obtenemos de la estación meteorológica colocada en la facultad de Física de la universidad de Barcelona, la más cercana a nuestro edificio.

El flujo puede considerarse como:

$$H = \frac{T_{sa} - T_{int}}{R}$$

Donde: T_{sa} : denominada “Temperatura sol-aire” que viene dada por la expresión:

$$T_{sa} = T_a + R_{se}(\alpha \cdot I_s)$$

Siendo: T_a : Temperatura aire
 R_{se} : 0,08 m²°K/W
 α : conductividad vidrio (0,9)
 I_s : Radiación solar

Aplicando el método de cálculo anterior podemos comparar los diferentes resultados.

En la gráfica siguiente se ven los diferentes flujos teóricos, en verde vemos el flujo teórico calculado con la $U=5,68\text{W/m}^2\text{K}$, en rojo con la $U=4,51\text{W/m}^2\text{K}$, en color morado se ve el flujo teórico $U=4,51\text{W/m}^2\text{K}$ mas la radiación solar.

En azul vemos el flujo real obtenido mediante el ensayo 7.

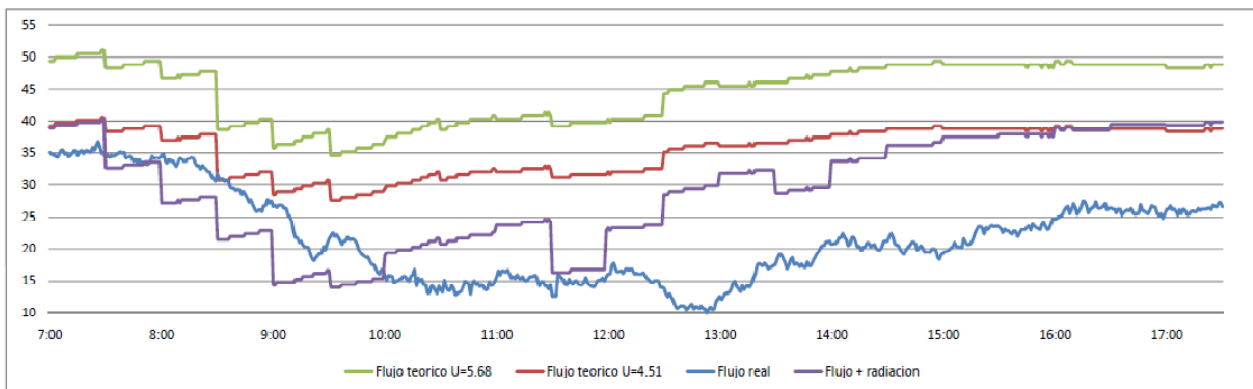


Figura 4.35: Diferentes flujos teóricos vidrio simple fachada Oeste.

Las diferencias que todavía se siguen observando pueden ser debidas a que haya cambiado el coeficiente R_{se} respecto al medido durante la noche. Veremos posteriormente la influencia que el viento tiene en este coeficiente.

4.6 Comparativa entre los coeficientes de transmisión térmicos obtenidos en diferentes días y ubicaciones.

El cálculo se ha realizado basándonos en los resultados de un ensayo en un día determinado, pero si calculamos la U en diferentes días vemos que hay variaciones considerables entre ellos, a pesar de tratarse siempre del mismo tipo de vidrio.

En particular, a continuación se comparan todas las U de los diferentes ensayos realizados en la fachada Oeste. Como vemos hay mucha variabilidad entre los diferentes días y alturas del ensayo.

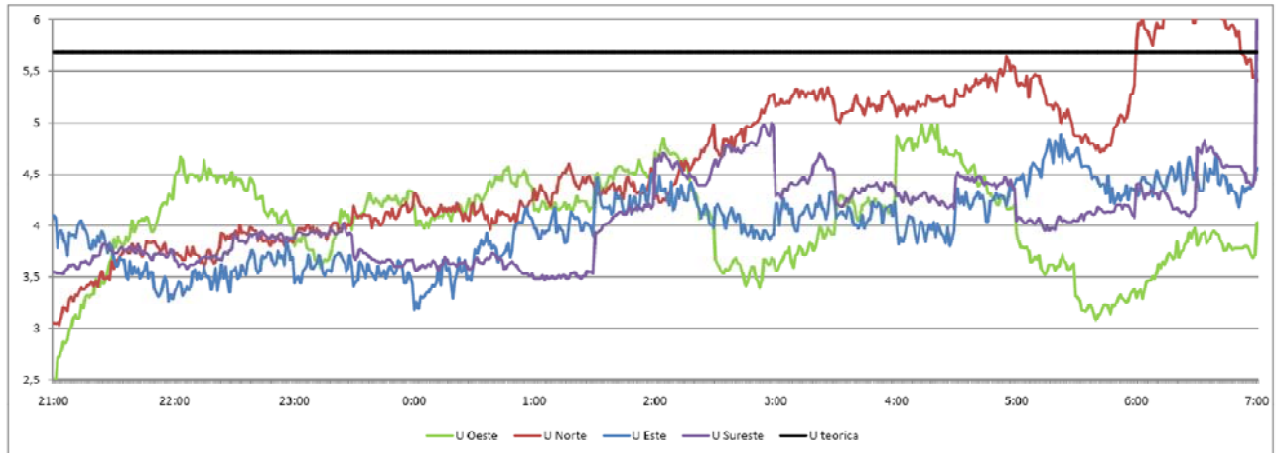


Figura 4.36: Diferentes U de vidrio simple en todas las fachadas del edificio.

Valores promedio

Oeste: 4,04 m/s

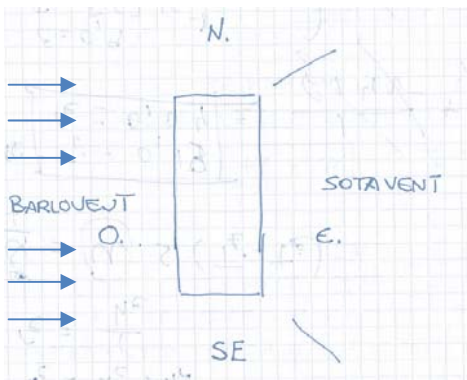
Norte: 4,62 m/s

Sureste: 4,06 m/s

Este: 3,99 m/s

Que se produzca esta variabilidad en las horas nocturnas nos indica que no solo la radiación solar influye, hay otro factor ambiental. Por los conceptos teóricos explicados al inicio del capítulo nos disponemos a calcular como influye la velocidad del viento.

Se realizaron ensayos en las diferentes plantas y orientaciones del edificio para conocer la velocidad del viento (V.V)



La dirección del viento predominante en Barcelona proviene de la costa hacia el interior.

En nuestro caso las fachadas N, O y SE quedarían a barlovento y la fachada E a sotavento.

Figura 4.37: Esquema dirección viento.

Estos son los datos obtenidos durante el ensayo realizado con anemómetro, tal y como se explica en el capítulo 4.1.

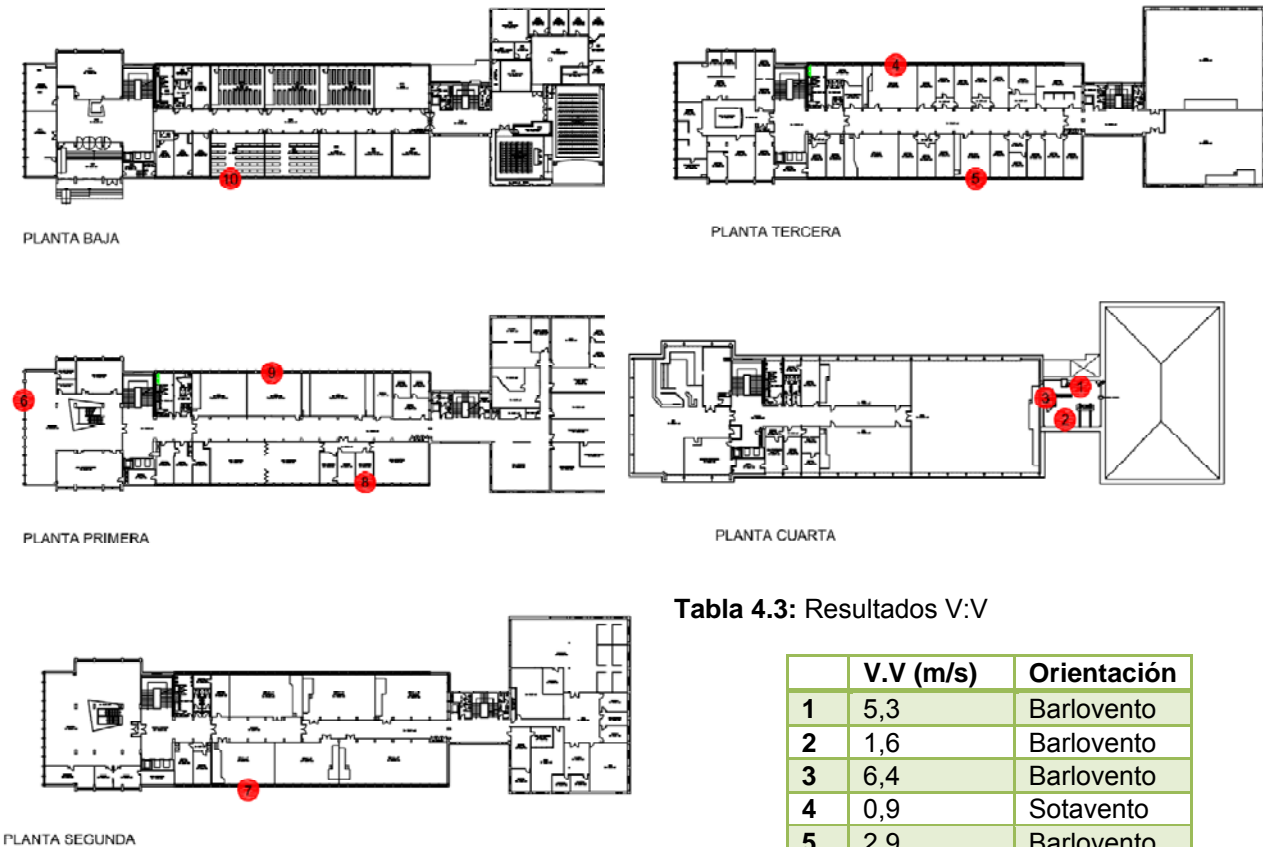


Tabla 4.3: Resultados V:V

| | V.V (m/s) | Orientación |
|----|-----------|-------------|
| 1 | 5,3 | Barlovento |
| 2 | 1,6 | Barlovento |
| 3 | 6,4 | Barlovento |
| 4 | 0,9 | Sotavento |
| 5 | 2,9 | Barlovento |
| 6 | 1,3 | Barlovento |
| 7 | 4,3 | Barlovento |
| 8 | 4,4 | Barlovento |
| 9 | 1,2 | Sotavento |
| 10 | 1,2 | Barlovento |

Figura 4.38: Esquema puntos medida velocidad viento (V.V).

Se ha calculado la R_{se} para una fachada a sotavento (ensayo 4) y otra a barlovento (ensayo 8)

Ensayo 8

$$R_{se} = \frac{1}{h_e}$$

$$h_e = h_c + h_r$$

$$h_c = 5 + 4,5v - 0,14v^2$$

$$h_r = 4\varepsilon\sigma T_e^3$$

Para $v = 4,42$ m/s
 $R_{se} = 0,037$ m²K/W

Ensayo 4

$$R_{se} = \frac{1}{h_e}$$

$$h_e = h_c + h_r$$

$$h_c = 5 + 1,5v$$

$$h_r = 4\varepsilon\sigma T_e^3$$

Para $v = 0,96$ m/s
 $R_{se} = 0,089$ m²K/W

Siendo:

$\varepsilon = 0,9$
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴
 $T_e = 283,4$ K (para una temperatura estándar exterior de 10°C)

Tal y como se justifica en los cálculos anteriores tenemos resistividades exteriores de vidrio diferentes según la orientación respecto al viento.

Las fachadas a barlovento sí que cumplen con los datos obtenidos del CTE, mientras que las fachadas sotavento, tal y como se demostró en el ensayo 32 tienen una resistividad exterior mayor y por tanto en estos casos se mide una transmitancia menor

Este resultado, indica que es necesario ser muy cuidadosos a la hora de realizar medidas *in situ* ya que las condiciones exteriores pueden afectar considerablemente los valores de transmitancia térmica, y podrían, por tanto, dar lugar a errores importantes en la determinación de los parámetros correspondientes a los vidrios

5 Cálculo de la demanda de energía mediante LIDER

El programa LIDER se trata de la herramienta informática desarrollada por AICIA - Grupo de Termotecnia E.S de Ingenieros Industriales de Sevilla, para la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de la Vivienda y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

La aplicación de LIDER es la implementación informática de la opción general de verificación de la exigencia de limitación de demanda energética (HE 1), establecida en el documento básico de Ahorro de energía (HE) del Código Técnico de la Edificación.

Esta herramienta informática está diseñada para la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el documento básico referido anteriormente y la generación de la documentación administrativa pertinente.

La definición de los edificios es compatible con la requerida por el programa base de la Certificación energética de los edificios, CALENER, en todas las versiones existentes para edificios residenciales, pequeño y mediano terciario y gran terciario. Esta herramienta se definirá en el capítulo 5.

Al ser una herramienta de evaluación de la normativa, el programa LIDER genera de forma automática un edificio de referencia con las mismas características de forma, orientación y uso del edificio analizado, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir los requisitos prescriptivos del Código Técnico de la Edificación. Para el desarrollo del trabajo aquí presentado se ha trabajado con la versión 1.0 del 31 de octubre del 2009 del programa, en la que es posible visualizar los datos de demanda energética para los meses de invierno y verano.

5.1 Evaluación de la demanda con el programa LIDER (Limitación de la Demanda Energética)

Como se mencionó en el párrafo anterior, se trata de la herramienta informática asociada a la implementación del Código Técnico de la Edificación. Este programa realiza una simulación de la demanda en base horaria y en régimen transitorio de transferencia de calor considerando todas las zonas que tiene el edificio.

Al ser una herramienta asociada al cumplimiento de la normativa en lo referente a la limitación de la demanda energética, centra el análisis en las características de la envolvente del edificio (cerramientos verticales, cubiertas, soleras, etc.). Los parámetros de confort para las diferentes épocas del año son prefijados por el programa, y los aportes internos derivados de la ocupación y los aparatos se establecen por valores de referencia previamente definidos de acuerdo a 2 tipos de uso (baja carga interna; residencial, y alta carga interna; el resto de usos).

El programa integra un conjunto de subprogramas y documentos para el cálculo de la demanda de los que vale la pena mencionar los siguientes:

- Una interfaz gráfica que permite realizar la definición geométrica y la definición formal del edificio.
- El motor de cálculo que contiene los algoritmos que permiten calcular la demanda del edificio como ya se explicó en base horaria y en régimen transitorio multizona

y la compara con un edificio de referencia que crea automáticamente el programa y que no es otro que el mismo edificio definido pero con unas características que le permitiría cumplir como mínimo con las exigencias del Código Técnico de la Edificación.

- Las librerías o base de datos que facilitan al usuario la definición de los diferentes elementos constructivos del edificio (materiales, composición de cerramientos, acristalamientos, etc.).

5.1.1 Introducción de datos en el programa

A partir de la información recopilada sobre el edificio EPSEB: planos de estado actual y diferentes verificaciones *in situ* y consultas a los encargados de mantenimiento y profesores de la escuela, se realiza la definición geométrica y definición de materiales de las diferentes soluciones constructivas.

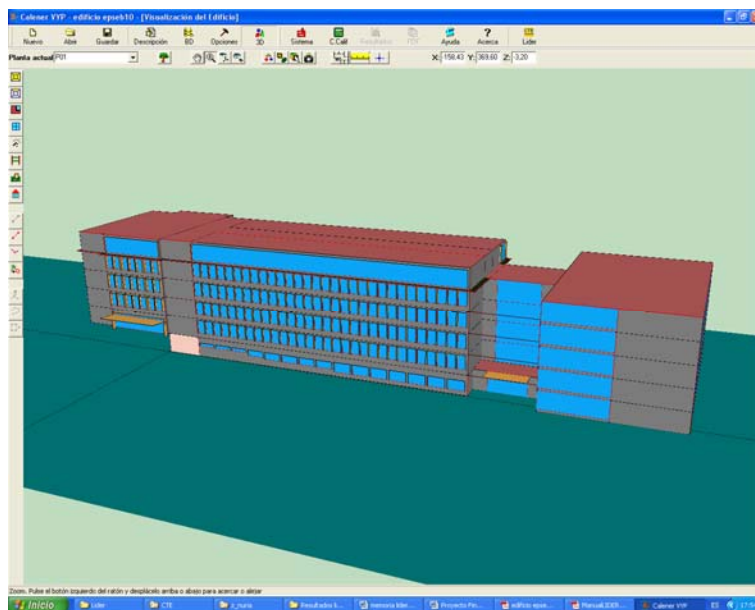


Figura 5.1: Vista 3d del edificio introducido.

Para realizar las verificaciones energéticas el programa requiere una serie de datos previos: zona climática, orientación, tipo de edificio, clase higrométrica y uso de los espacios habitables y renovaciones hora requeridos. Todos estos parámetros están especificados y explicados en el CTE-HE 1 y se pueden consultar para la introducción en el programa.

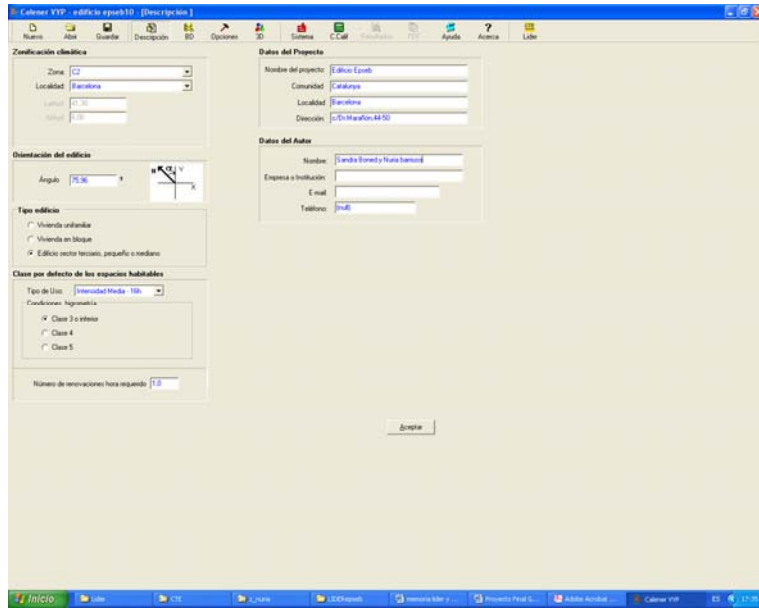


Figura 5.2: Vista apartado descripción general.

5.1.2 Definición de Materiales:

Elementos opacos

Para la definición de cada uno de los elementos que conforman la envolvente del edificio (Muros exteriores, suelos, techos, cubiertas), se deben especificar las diferentes capas que conforman el cerramiento con sus materiales, grosores, características y transmitancias de cada una de ellas. El programa dispone de todos estos datos en las librerías adjuntas al programa. Haciendo una distinción entre elementos opacos y semitransparentes:

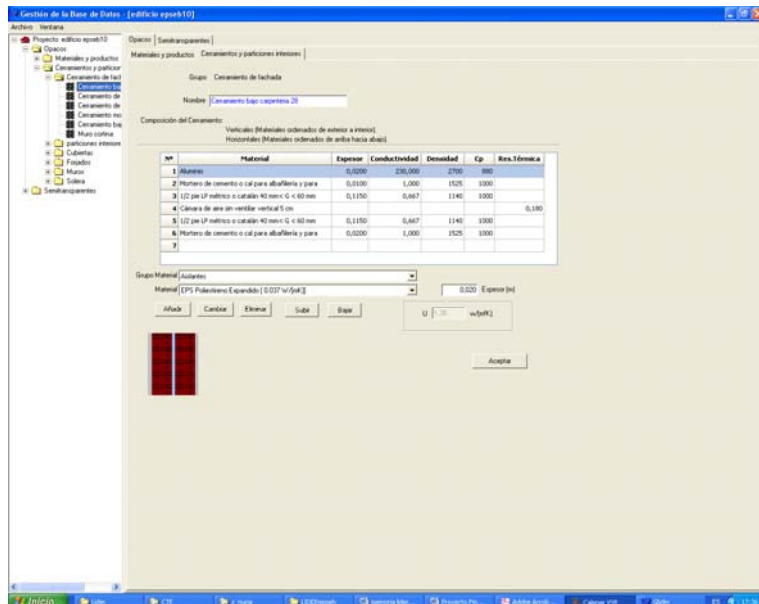


Figura 5.3: Vista formación de soluciones constructivas

El listado completo de materiales y sus características utilizados para el cálculo se pueden consultar en el anejo 2 de esta memoria en el informe de resultados del programa LIDER.

| CTE | | Proyecto | |
|---------------------------|--------------|--|----------------|
| HE-1 Opción General | | Edificio Epseb | |
| | | Localidad | Comunidad |
| | | Barcelona | Catalunya |
| Nombre | U (W/m²K) | Material | Espesor (m) |
| Cerramiento de piedra 40 | 1.07 | Sodocálcico [inc. Vidrio flotado] | 0,006 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm | 0,115 |
| | | Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm | 0,000 |
| | | Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm | 0,000 |
| | | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm | 0,115 |
| Cerramiento de piedra 30 | 1.35 | Caliza dura [2000 < d < 2190] | 0,030 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm | 0,115 |
| | | Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm | 0,000 |
| | | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm | 0,115 |
| Partido interior | 3.04 | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | Tabicón de LH doble [80 mm < E < 90 mm] | 0,060 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| cubierta no transitable | 0.81 | Acero | 0,002 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/(mK)] | 0,040 |
| | | Acero | 0,002 |
| Cubierta transitable | 1.50 | FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm | 0,260 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,100 |
| | | Betún feltro o lámina | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Plaqueta o baldosa cerámica | 0,015 |

Figura 5.4: Listado de materiales: resultados calculo

Elementos semitransparentes

El caso de los elementos semitransparentes los datos a definir son los que vemos en la figura adjunta. Dentro de la base de datos del mismo programa, ya comentada en el apartado anterior, encontramos las opciones posibles para definir el marco, rotura de puente térmico, el tipo de vidrio, el % de hueco tapado por el marco y la permeabilidad del la ventana. Estos últimos dos datos se calculan, el primero por superficies de cada unos de los elementos y el segundo según la clasificación de la ventana en la UNE-EN 12207.

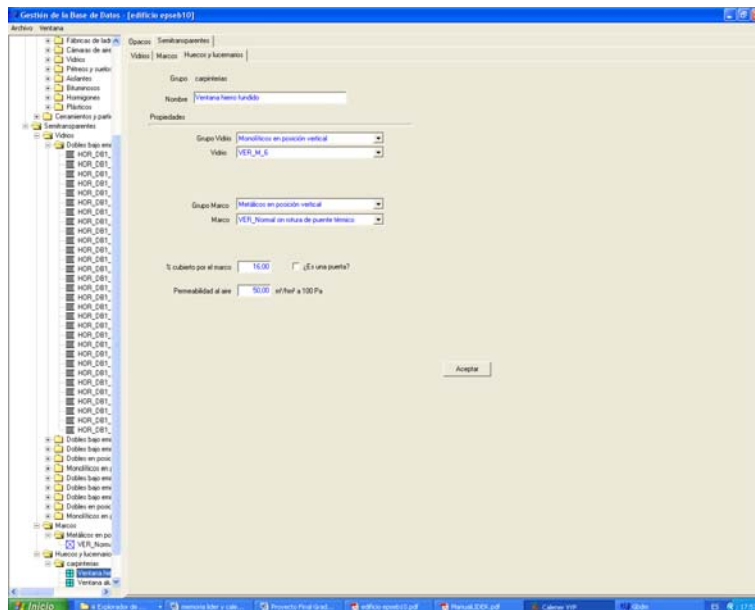


Figura 5.5: Definición marco-vidrio.

Una vez definidas las características de los materiales semitransparentes, se ubican en su posición en el edificio, y se procede a definir las características de uso de protecciones solares del edificio que afectan al factor solar sobre el vidrio y su transmitancia.

En el caso del factor solar aplicamos un corrector sobre los vidrios, al tener en cuenta que en verano todo el tiempo de asoleamiento directo estas se encuentran bajadas. El programa ya tiene en cuenta un 30% de reducción del factor solar por defecto, pero nosotros queremos que aplique el 50% por tanto aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Corrector} = 0,5 * \text{Factor solar hueco} / (\text{Factor solar hueco} * 0,7) = 0,70$$

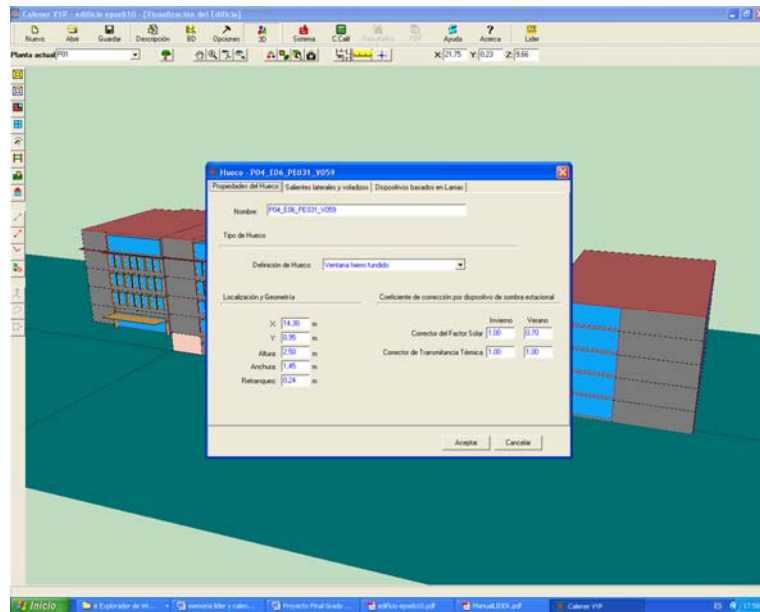


Figura 5.6: Factor solar y transmitancia

Por otro lado la transmitancia térmica no le aplicamos corrector porque ya la hemos definido correctamente al definir el material y no hay elemento que pueda modificar la transmitancia.

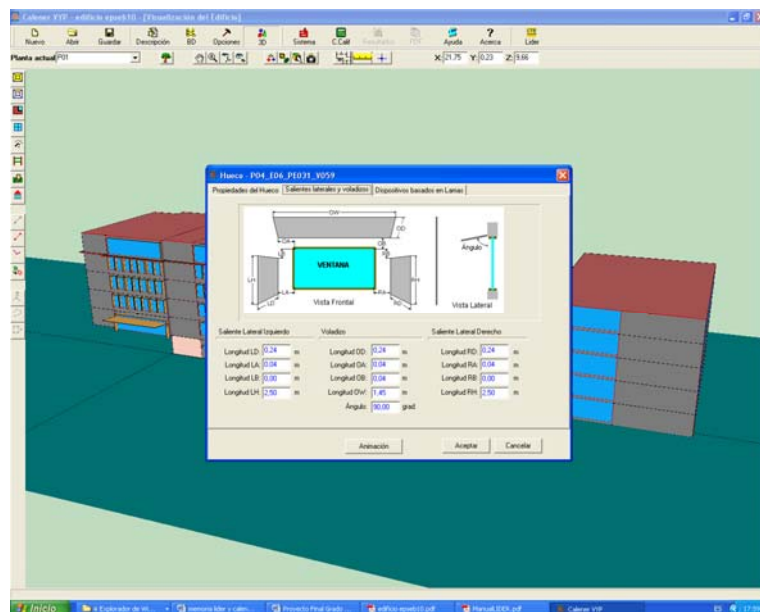


Figura 5.7: Protecciones solares.

También debemos definir las protecciones solares sobre las superficies acristaladas introduciendo las dimensiones y alturas de los aleros, las cuales son importantes tanto para invierno como para verano, porque varían la aportación de calor solar afectando en invierno al cálculo de demanda de calefacción y en verano al cálculo de demanda de refrigeración

También existe la posibilidad de introducir protecciones de lamas y otras protecciones de las que no dispone el edificio objeto.

5.1.3 Definición de elementos constructivos:

Puentes térmicos

El programa identifica de forma automática los puentes térmicos del proyecto y permite definir los valores de transmisión térmica lineal en cada caso: frentes de forjado, pilares, jambas, cerramientos en contacto con el terreno, esquinas, cubiertas....

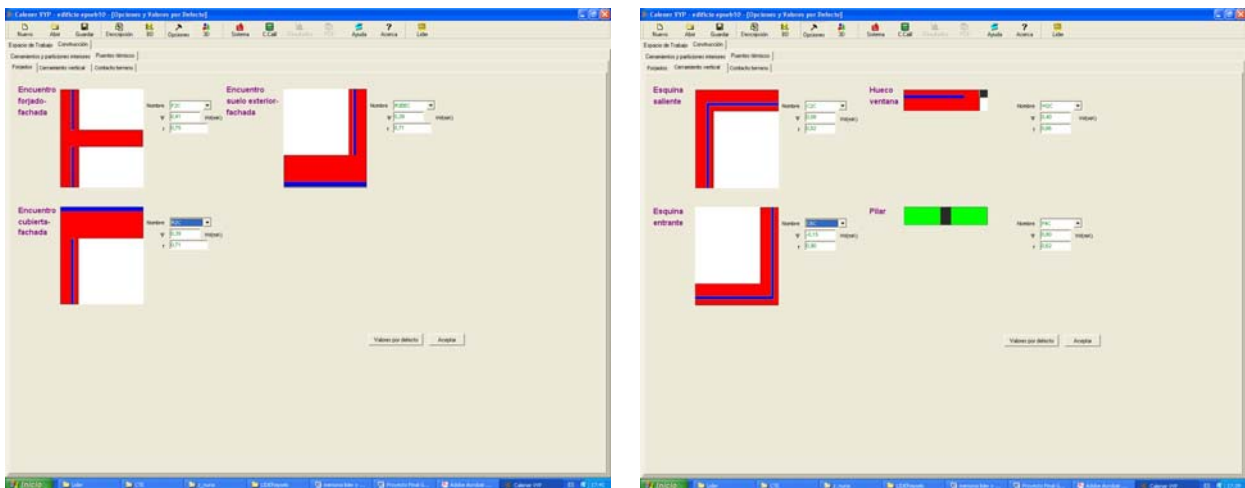


Figura 5.8: Definición puentes térmicos

Sombras

Esta es una herramienta de LIDER que nos permite representar las sombras que ejercen elementos del mismo edificio o incluso los edificios colindantes que dan sombra sobre el edificio objeto del estudio.

5.1.4 Cargas internas y climatización:

Como se ha mencionado, las cargas internas asociadas a los ocupantes y los aparatos que producen calor en el edificio, así como el sistema de acondicionamiento de aire que el programa pre-supone atenderá la demanda, son valores fijos que no se pueden modificar por el usuario de LIDER.

En cuanto a los parámetros de confort de referencia, el programa considera como temperaturas de referencia para el período de invierno 20°C y para el de verano de 25°C.

Para las cargas por ventilación e infiltración a través de las ventanas, cálculo que afecta enormemente a las demandas de calefacción y refrigeración. En este caso como las

carpinterías son existentes para poder estimar las renovaciones hora del volumen de las aulas a través de las ventanas hemos realizado es siguiente cálculo:

$$C = \mu S_h = C_v (\Delta p)^{0,65} S_h \quad (m^3/h)$$

Siendo:

C_v – coeficiente característico de clase de ventana

Δp – Diferencia de presión en Kp/m^2

S_h – Superficie total del hueco en m^2

Al aplicar esta fórmula para la clase de ventanas con la clasificación más desfavorable (menos permeabilidad) nos da un resultado de $150 m^3/h$. Si tenemos en cuenta que el espacio medio de los despachos es de $45m^2$ y que dispone de dos ventanas por sala tenemos que las ventanas infiltran $300 m^3/h$ para un volumen de $160 m^2$, nos da un resultado global de 2 renovaciones a la hora.

Para introducir las cargas de iluminación, que en un edificio terciario son importantes, se realizó una medición insitu con un luxómetro, detallado en el capítulo 3.1, para calcular los lux de: pasillos, biblioteca, aulas, despachos... y así a través de lo que se de talla en el CTE-HE-3. Eficiencia energética de las instalaciones de Iluminación y aplicando las formulas específicas del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determina mediante el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) en W/m^2 por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \left(\frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \right)$$

Siendo

P - la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [W];

S - la superficie iluminada [m^2];

E_m - la iluminancia media horizontal mantenida [lux]

Obtenemos los siguientes resultados:

Aulas y despachos;

P= 972 W

S= 98'45 m^2

E_m = 337 lux

VEEI= 2'93 W/m^2

Zonas Comunes;

P= 936 W

S= 299'32 m^2

E_m = 145'5 lux

VEEI= 2'15 W/m^2

Biblioteca;

P= 1512 W

S= 261'18 m^2

E_m = 385'25 lux

VEEI= 1'5 W/m^2

5.1.5 Metodología de cálculo:

Una vez definido totalmente el edificio el programa calcula la demanda de acuerdo a la siguiente secuencia descrita por sus autores.

“La respuesta global del edificio se calcula a partir de lo que se denomina respuestas unitarias, lo cual conlleva un proceso diferido que supone las siguientes etapas:

1. Cálculo de las ganancias o pérdidas de calor del edificio frente a cada una de las solicitudes exteriores (una a una), suponiendo que la temperatura interior es constante.
2. Cálculo de las ganancias o pérdidas de calor del edificio frente a cada una de las solicitudes exteriores (una a una), suponiendo que la temperatura interior es constante.
3. Cálculo de la respuesta del edificio en términos de carga térmica para cada una de las solicitudes unitarias (Funciones de transferencia) que caracterizan las ganancias o pérdidas instantáneas.
4. Cálculo de la carga térmica a temperatura constante, aplicando los resultados de la etapa tercera a las dos primeras.
5. Cálculo de la respuesta del edificio frente a una excitación unitaria de la temperatura interior.
6. Cálculo de la carga térmica a temperatura variable (aplicando los resultados de la etapa quinta a la cuarta) y teniendo en cuenta el comportamiento del equipo acondicionador.”

Los resultados que aporta el programa LIDER permiten valorar la demanda energética global de calefacción y refrigeración en términos de KWh/m^2 , y establecer la comparación con el edificio de referencia que el programa crea de forma automática, y que como se ha explicado supone un edificio con las mismas características de forma, volumen, orientación y uso, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir con las exigencias mínimas del Código Técnico de la Edificación. Esta valoración será de gran utilidad a la hora de evaluar las posibilidades de mejora de las edificaciones.

Los resultados de demanda energética también se presentan para cada zona definida en el edificio y para cada componente de la zona (paredes, suelos, ventanas, etc.) lo que permite identificar los elementos que pueden estar contribuyendo a elevar la demanda y valorar las posibles alternativas de mejora.

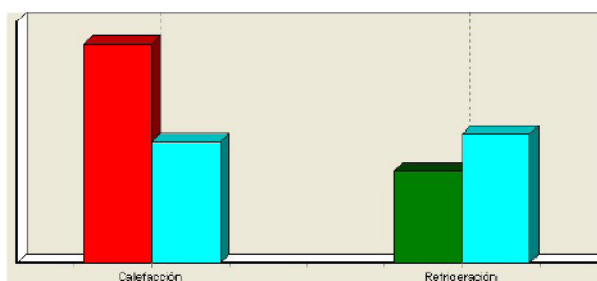
5.2 Análisis de resultados del cálculo de la demanda energética del edificio

Una vez realizado el cálculo procedemos a analizar los resultados obtenidos.

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe NO CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1.

| | Calefacción | Refrigeración |
|---|-------------|---------------|
| % de la demanda de Referencia | 180,9 | 72,0 |
| Proporción relativa calefacción refrigeración | 70,2 | 29,8 |



En el caso de edificios de viviendas el cumplimiento indicado anteriormente no incluye la comprobación de la transmitancia límite de 1,2 W/m²K establecida para las particiones interiores que separan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en el proyecto, con las zonas comunes del edificio no calefactadas.

Figura 5.9: Resultados globales LIDER

De acuerdo a la valoración que hace el programa respecto al edificio de referencia que cumpliría la normativa, el edificio de la EPSEB (edificio objeto) no cumple las exigencias del Código Técnico de la Edificación. Hecho que se prevé, ya que la mayoría de soluciones constructivas del edificio no cumplen las transmisiones máximas establecidas en el CTE.

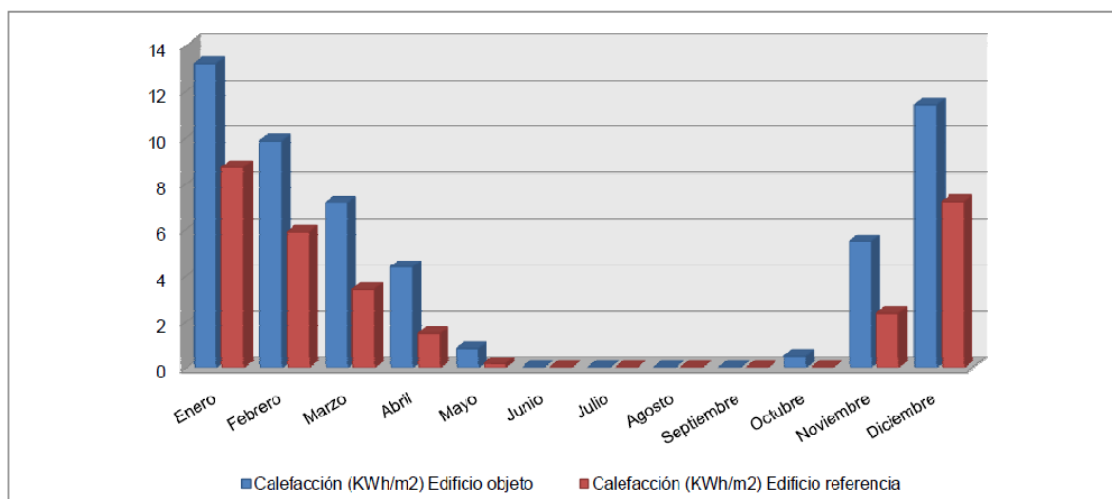
Como podemos ver los resultados de calefacción, indican que la demanda del edificio EPSEB supera en un 81% la demanda del edificio de referencia. Y por otro lado que la demanda de refrigeración del edificio EPSEB es un 28% más baja que el edificio de referencia.

Con el fin de analizar los datos más detalladamente, recuperamos los archivos de cálculo del programa donde podemos ver los resultados de demanda para cada mes del año son los siguientes:

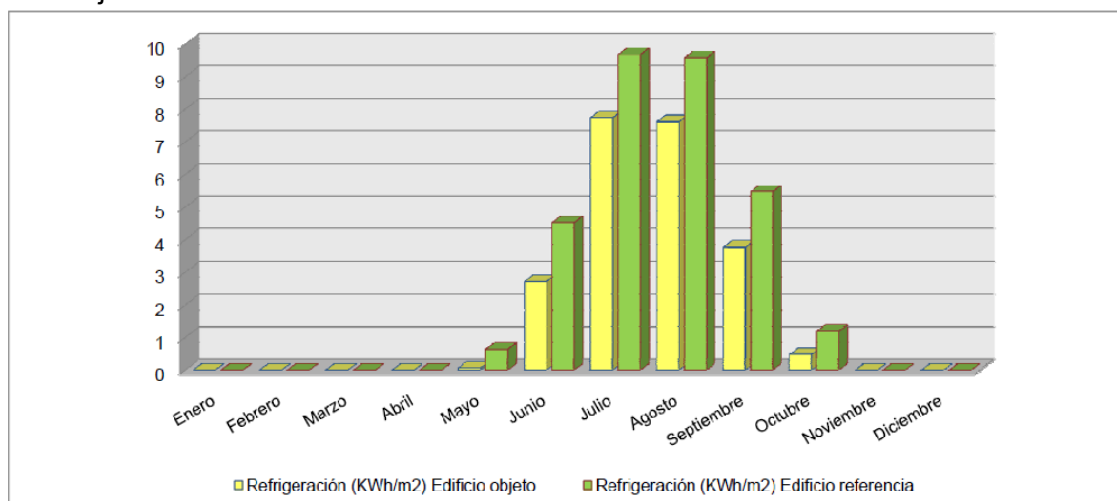
Tabla 5.1: Demanda mensual del edificio

| | Calefacción (KWh/m ²) | | Refrigeración (KWh/m ²) | |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Edificio objeto | Edificio referencia | Edificio objeto | Edificio referencia |
| Enero | 13,212 | 8,697 | 0 | 0 |
| Febrero | 9,872 | 5,884 | 0 | 0 |
| Marzo | 7,164 | 3,394 | 0 | 0 |
| Abril | 4,379 | 1,481 | 0 | 0 |
| Mayo | 0,827 | 0,171 | 0,065 | 0,642 |
| Junio | 0 | 0 | 2,715 | 4,532 |
| Julio | 0 | 0 | 7,753 | 9,688 |
| Agosto | 0 | 0 | 7,632 | 9,594 |
| Septiembre | 0 | 0 | 3,782 | 5,476 |
| Octubre | 0,511 | 0 | 0,479 | 1,198 |
| Noviembre | 5,508 | 2,385 | 0 | 0 |
| Diciembre | 11,401 | 7,222 | 0 | 0 |

Estos resultados se han representado gráficamente en la siguiente figura en la que podemos ver la comparación entre la demanda de calefacción del edificio objeto con el edificio de referencia mensualmente.

**Figura 5.10:** Gráfica demanda de calefacción edificio objeto - edificio referencia

En la siguiente figura podemos ver la comparación entre la demanda de refrigeración del edificio objeto con el edificio de referencia mensualmente.

**Figura 5.11:** Gráfica demanda de refrigeración edificio objeto - edificio referencia

Como podemos observar, la demanda de refrigeración en el edificio objeto es sustancialmente menor que en el edificio de referencia, este hecho es causa directa del nº de renovaciones hora que se dan actualmente en el edificio a través de las carpinterías.

A partir de los resultados obtenidos, y en el caso de la refrigeración sustrayendo la demanda del mes de agosto en el que no hay actividad en el edificio, se obtienen los valores en KWh/m² de demanda energética anual para calefacción y refrigeración:

Tabla 5.2: Demanda global del edificio

| | Calefacción (KWh/m ²) | Refrigeración (KWh/m ²) |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Demanda edificio objeto | 52,87 | 22,43 |
| Demanda edificio referencia | 29,23 | 31,13 |

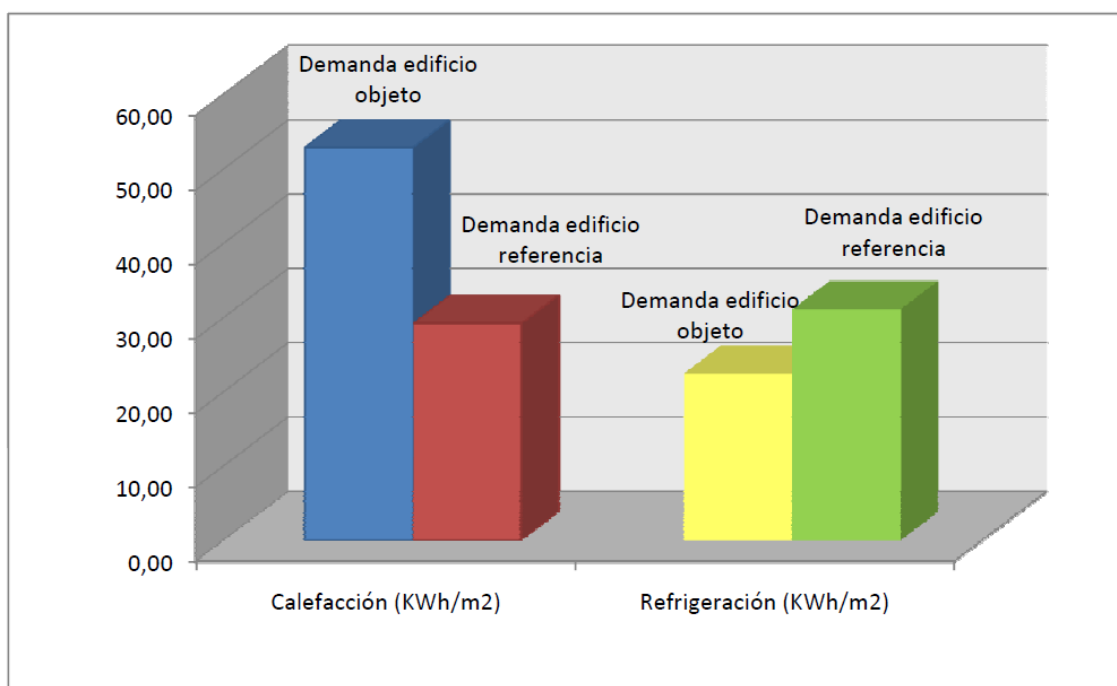


Figura 5.12: Gráfica demanda global ed.objeto – ed.referencia

En lo referente al consumo máximo global, 53 KWh/m² en calefacción, es importante remarcar que en la normativa energética española el consumo máximo permitido en los edificios es de 50 KWh/m², es decir, que no es tan elevada como podríamos esperar.

A partir de los resultados obtenidos, considerando la superficie construida, se obtienen los valores de consumo en KWh anual para calefacción y refrigeración:

Tabla 5.3: Consumo global del edificio.

| | Calefacción (KWh) | Refrigeración (KWh) |
|----------------------------|-------------------|---------------------|
| Edificio objeto | 810.714,92 | 343.944,31 |
| Edificio referencia | 448.216,33 | 477.351,16 |

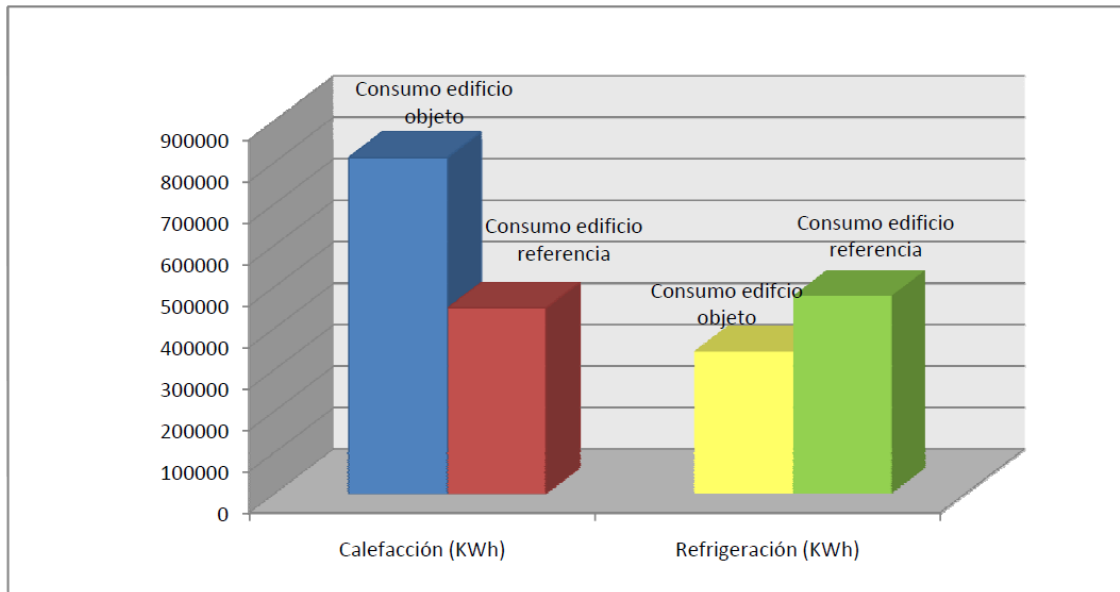


Figura 5.13: Gráfica consumo global edificio objeto - edificio referencia

Una vez obtenida la demanda global del edificio se ha realizado una comparación con los consumos reales del edificio. Solo se ha realizado la comparación para el consumo de gas natural, es decir, para la calefacción.

Tabla 5.4: Comparativo demanda - consumo

| | Demanda edificio | | Consumo edificio | |
|-------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| | KW/hm ² | KW/h | KW/hm ² | KW/h |
| Mayo | 0,827 | 12681,3172 | 591 | 6940,113 |
| Junio | 0 | 0 | 183 | 2148,969 |
| Julio | 0 | 0 | 136 | 1597,048 |
| Agosto | 0 | 0 | 20 | 234,86 |
| Septiembre | 0 | 0 | 793 | 9312,199 |
| Octubre | 0,511 | 7835,73532 | 676 | 7938,268 |
| Noviembre | 5,508 | 84460,333 | 6.325 | 74274,475 |
| Diciembre | 11,401 | 174824,302 | 13.491 | 158424,813 |
| Enero | 13,212 | 202594,393 | 12.204 | 143311,572 |
| Febrero | 9,872 | 151378,433 | 13.515 | 158706,645 |
| Marzo | 7,164 | 109853,636 | 12.865 | 151073,695 |
| Abril | 4,379 | 67148,1115 | 3.436 | 40348,948 |

Como podemos ver el consumo del edificio en general es menor que la demanda energética calculada por LIDER. Esto podría estar indicando que realmente la instalación es menor a la necesaria o no tiene un rendimiento óptimo, es decir, en el edificio se pasa frío. Estos datos son más evidentes al observarlos en la gráfica siguiente:

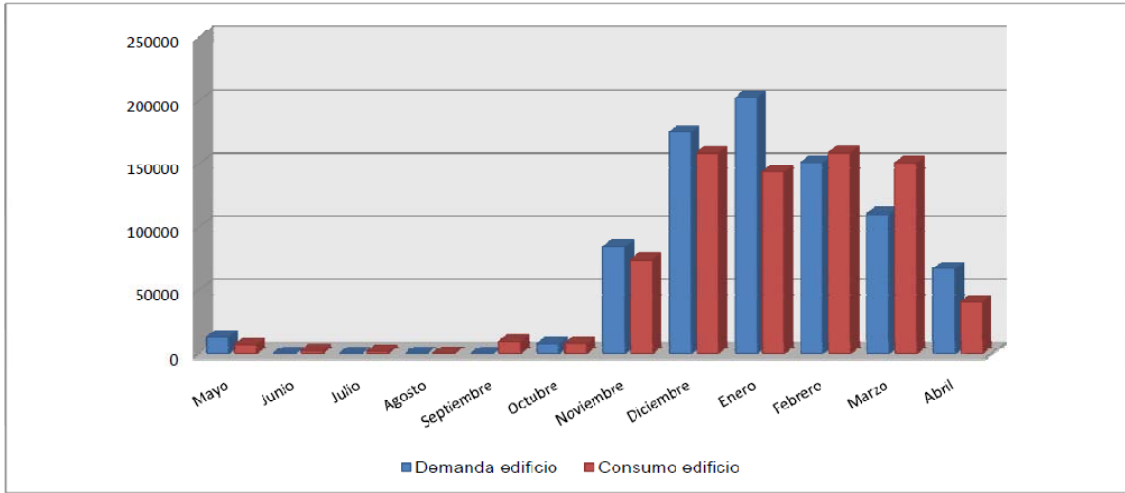


Figura 5.14: Gráfica comparativa consumo edificio – demanda LIDER

Con el fin de comprobar cuales son las necesidades para calefactar cada espacio, se ha consultado el listado de cálculos generado por LIDER. A continuación se adjunta la tabla comparativa entre los diferentes espacios definidos, donde podemos ver la demanda en KWh/m² para el mes de enero.

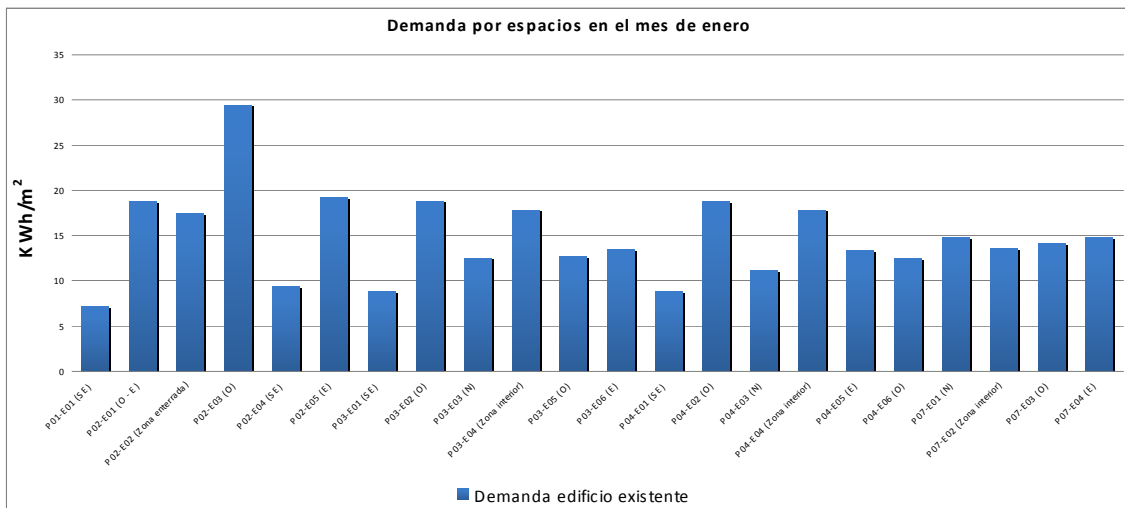


Figura 5.15: Gráfica comparativa consumo edificio – demanda LIDER

Tal y como se aprecia en la grafica anterior, las demandas son muy variables dependiendo de la orientación y ubicación. El espacio que más demanda tiene es P02 – E03 (O) que corresponde al acceso del edificio 2, este espacio tiene dos fachadas y el 50% del techo es cubierta, sin aislamiento, por el retranqueo de su planta superior. Esto provoca que sus necesidades de calefacción aumenten, debido a las pérdidas.

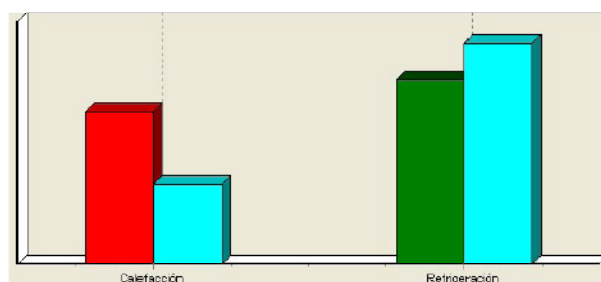
5.3 Análisis de resultados del cálculo de la demanda energética introduciendo la mejora de ventanas en el edificio

Durante la realización del estudio, en el edificio EPSEB se procedió a cambiar las ventanas, se ha aprovechado esta intervención para comprobar las variaciones sobre la demanda energética. Las nuevas ventanas tienen otros parámetros de transmitancia y permeabilidad (renovaciones hora) que se han consultado en las fichas características de suministro del material e introducido los cambios en LIDER. Una vez realizado el cálculo procedemos a analizar los resultados obtenidos.

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe NO CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1.

| | Calefacción | Refrigeración |
|---|-------------|---------------|
| % de la demanda de Referencia | 190,0 | 83,7 |
| Proporción relativa calefacción refrigeración | 45,3 | 54,7 |



En el caso de edificios de viviendas el cumplimiento indicado anteriormente no incluye la comprobación de la transmitancia límite de $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ establecida para las particiones interiores que separan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en el proyecto, con las zonas comunes del edificio no calefactadas.

Figura 5.16: Resultados globales LIDER

De acuerdo a la valoración que hace el programa respecto a un edificio de referencia que cumpliría la normativa, el edificio de la EPSEB (edificio objeto) no cumple las exigencias del Código Técnico de la Edificación.

Como podemos ver los resultados de calefacción, indican que la demanda del edificio EPSEB supera en un 90% la demanda del edificio de referencia. Y por otro lado que la demanda de refrigeración del edificio EPSEB es un 16% más baja que el edificio de referencia. Esto no significa que con la modificación aumente el consumo del edificio, es la proporción con el edificio de referencia que a la vez ha disminuido la demanda y hace que varíe la proporción total.

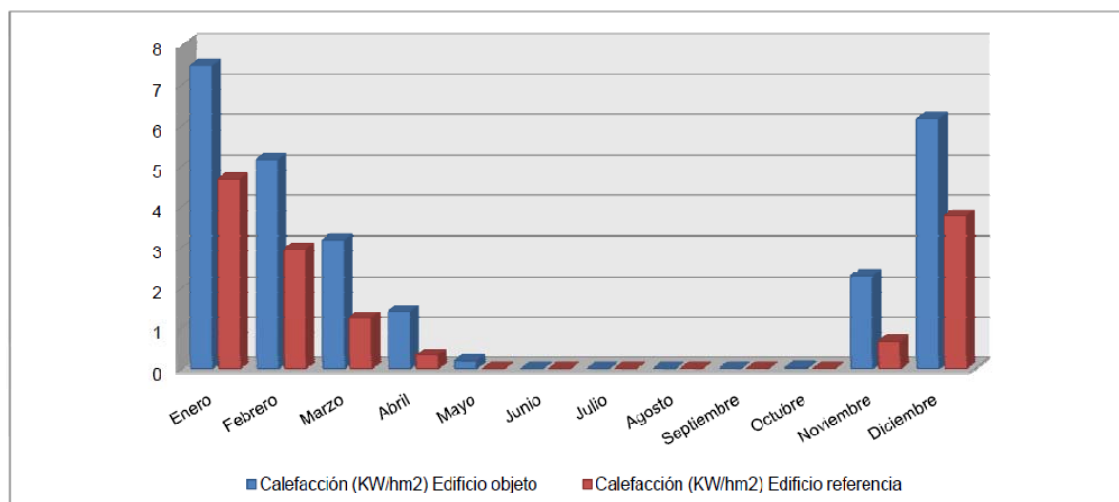
Con el fin de analizar los datos más detalladamente, recuperamos los archivos de cálculo del programa donde podemos ver los resultados de demanda para cada mes del año son los siguientes:

Tabla 5.5: Demanda mensual del edificio

| | Calefacción (KWh/m ²) | | Refrigeración (KWh/m ²) | |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Edificio objeto | Edificio referencia | Edificio objeto | Edificio referencia |
| Enero | 7,489 | 4,675 | 0 | 0 |
| Febrero | 5,161 | 2,952 | 0 | 0 |
| Marzo | 3,172 | 1,255 | 0,39 | 0,472 |
| Abril | 1,417 | 0,318 | 0 | 0,175 |
| Mayo | 0,18 | 0 | 1,386 | 2,01 |
| Junio | 0 | 0 | 4,55 | 5,817 |
| Julio | 0 | 0 | 9,066 | 10,122 |
| Agosto | 0 | 0 | 8,903 | 10,024 |
| Septiembre | 0 | 0 | 5,15 | 6,355 |
| Octubre | 0,026 | 0 | 1,466 | 1,932 |
| Noviembre | 2,293 | 0,664 | 0,384 | 0,499 |
| Diciembre | 6,161 | 3,769 | 0 | 0 |

Como se puede observar hay una disminución de demanda muy alta, de 4 KW/hm², que como veremos más adelante se repercute enormemente sobre el consumo del edificio anualmente. Esta es debida directamente a la disminución de pérdida de calor a través de las carpinterías, tanto en transmisión de calor como en infiltraciones de aire.

Estos resultados se han representado gráficamente en la siguiente figura en la que podemos ver la comparación entre la demanda de calefacción del edificio objeto con el edificio de referencia mensualmente.

**Figura 5.17:** Gráfica demanda de calefacción edificio objeto - edificio referencia

En la siguiente figura podemos ver la comparación entre la demanda de refrigeración del edificio objeto con el edificio de referencia mensualmente.

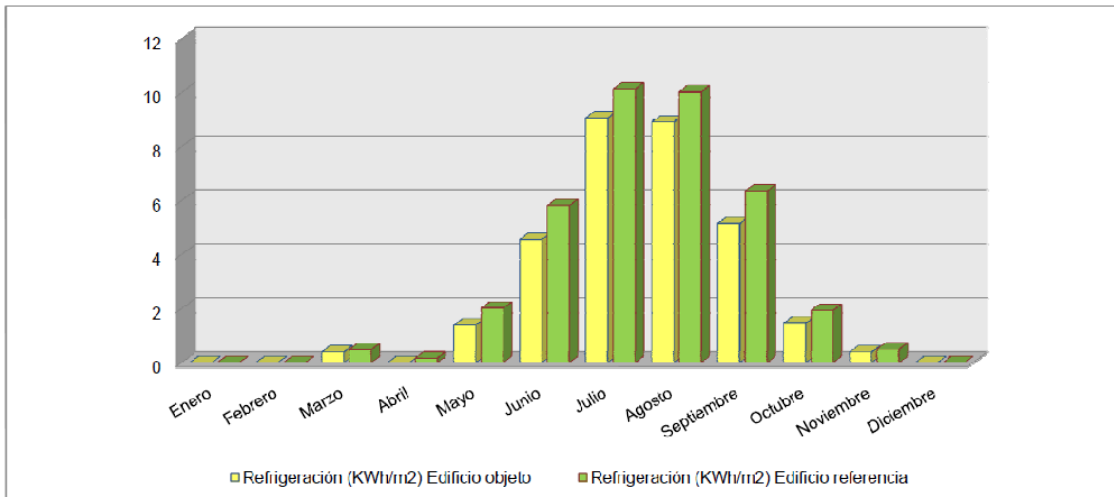


Figura 5.18: Gráfica demanda de refrigeración edificio objeto – edificio referencia

En esta gráfica también podemos observar que la demanda de refrigeración aumenta, no en tanta proporción como la calefacción, lo que es debido al mismo motivo, al tener menos renovaciones hora de aire necesita más refrigeración.

A partir de los resultados obtenidos, en el caso de la refrigeración sustrayendo la demanda del mes de agosto en el que no hay actividad en el edificio, se obtienen los valores en KWh/m² de demanda energética anual para calefacción y refrigeración:

Tabla 5.6: Demanda global del edificio

| | Calefacción (KWh/m ²) | Refrigeración (KWh/m ²) |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Demanda edificio objeto | 25,90 | 31,30 |
| Demanda edificio referencia | 13,63 | 37,41 |

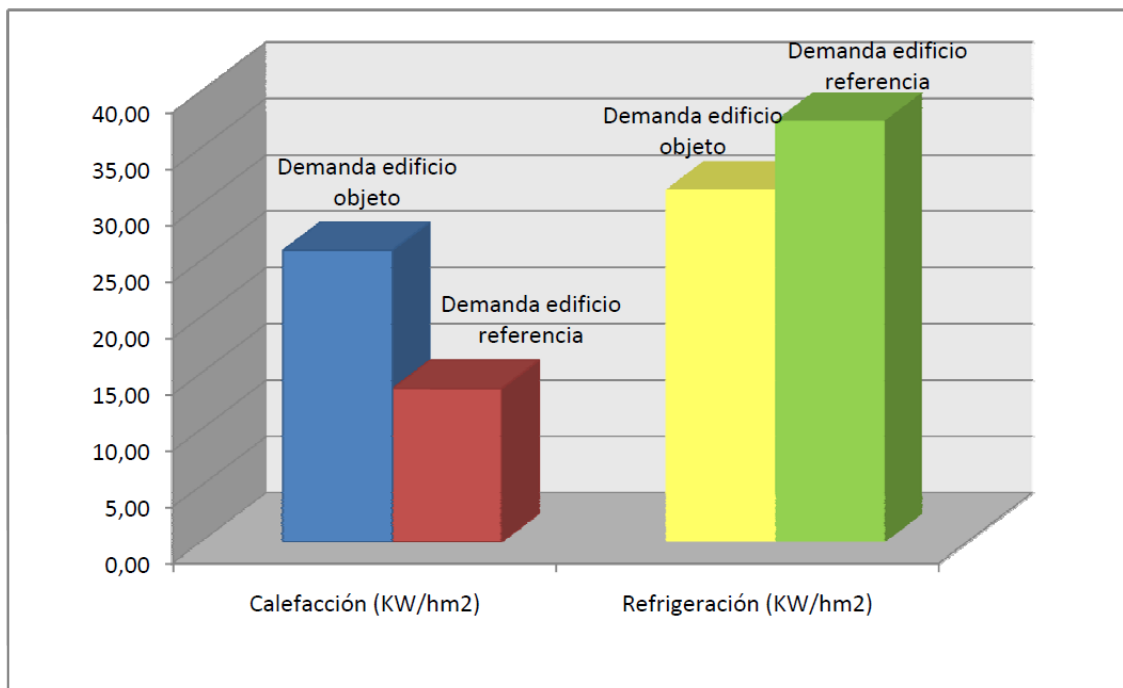


Figura 5.19: Gráfica demanda global edificio objeto – edificio referencia.

Con este dato global se comprueba que con el cambio de ventanas se ha reducido la demanda de calefacción a la mitad y por otro lado se ha producido un aumento de la demanda de refrigeración. Siendo la demanda máxima del edificio esta vez en verano. Esta es de 31'3 KW/hm², estando así dentro del consumo máximo permitido por la normativa energética española.

A partir de los resultados obtenidos, considerando la superficie construida, se obtienen los valores de consumo en KWh anual para calefacción y refrigeración:

Tabla 5.7: Consumo global del edificio

| | Calefacción (KWh/m2) | Refrigeración (KWh/m2) |
|----------------------------|----------------------|------------------------|
| Edificio objeto | 397.154 | 489.158 |
| Edificio referencia | 209.004 | 573.649 |

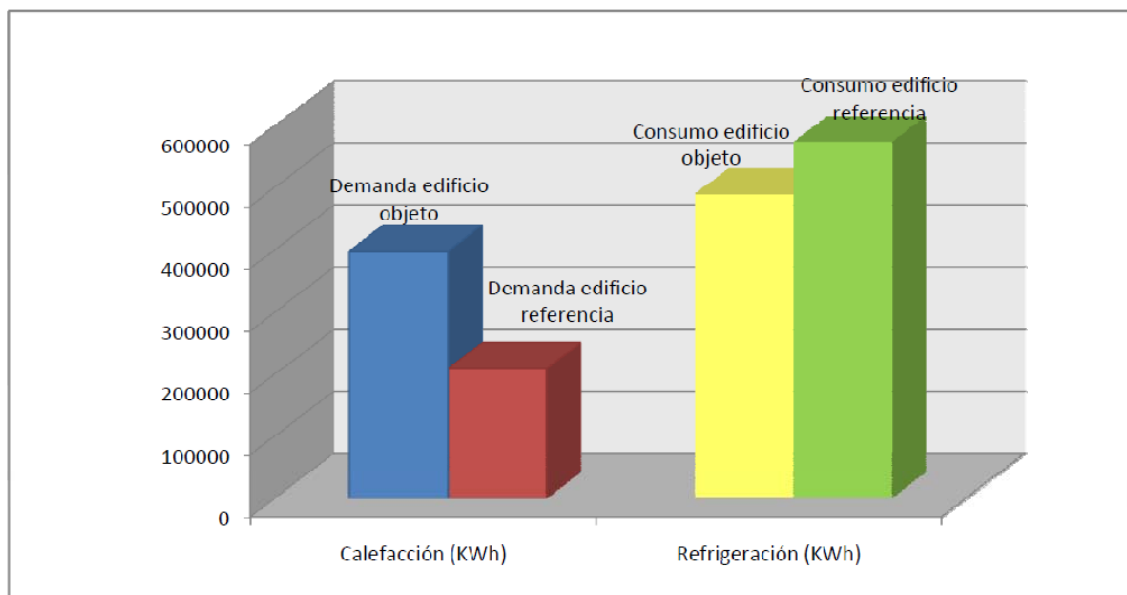


Figura 5.20: Gráfica consumo global edificio objeto - edificio referencia.

En este caso no podemos comparar la demanda con el consumo, puesto que, no tenemos datos del consumo de gas natural del edificio después del cambio de ventanas.

Lo que sí que se puede prever que la disminución del consumo del edificio en lo referente a la calefacción no será del 50%, tal y como calcula el programa LIDER, puesto que como ya adelantamos en el cálculo anterior en el edificio se pasa frío.

Con el fin de comprobar la variación de las necesidades de calefacción de cada espacio, se ha consultado el listado de cálculos generado por LIDER. A continuación se adjunta la tabla comparativa entre los diferentes espacios definidos, donde podemos ver la demanda en KWh/m² para el mes de enero, del edificio actual y del cálculo con la modificación de ventanas.

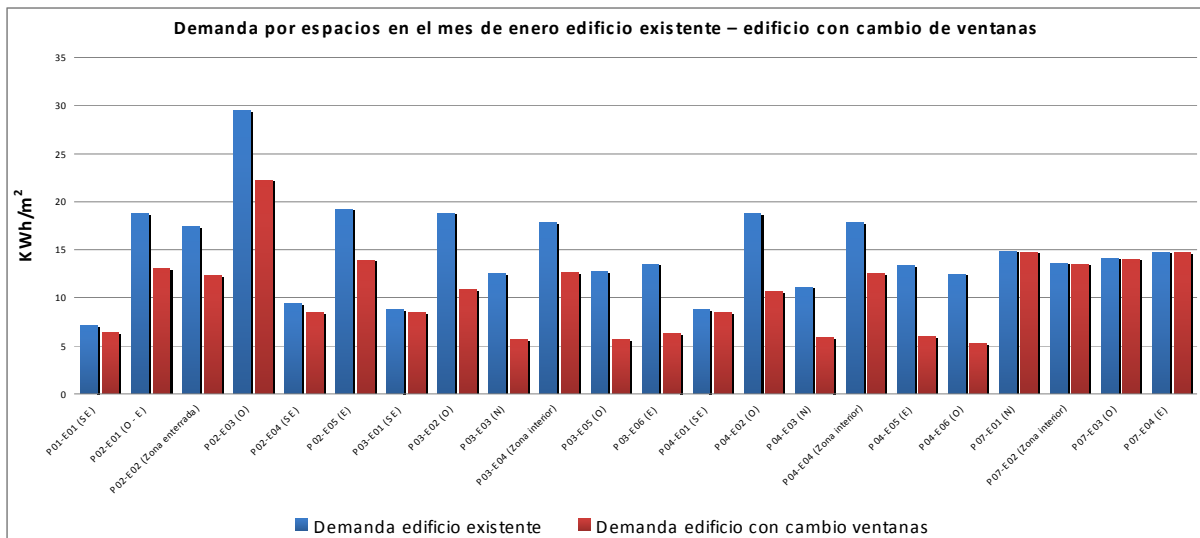


Figura 5.21: Demanda por espacios del mes de enero edificio existente - edificio con cambio de ventanas.

En la grafica anterior observamos como desciende la demanda en cada espacio, de media 4 KWh/m², una mejora importante. También vemos que hay algunos espacios donde no existe mejora, estos corresponden a los espacios del edificio donde no se han cambiado las carpinterías.

6 Calificación energética mediante CALENER VYP

En el ámbito español se viene trabajando en el desarrollo de la herramienta CALENER por el grupo de investigación AICIA de la cátedra de Termotecnia de la ETS de Ingenieros Industriales de Sevilla, que en el marco de la transposición de la directiva europea 2002/91/CE de Eficiencia Energética en los Edificios, está llamada a ser la herramienta de calificación de ámbito estatal.

Para el desarrollo del trabajo aquí presentado se ha trabajado con la versión 1.0 del 1 de julio del 2009 del programa.

CALENER es una herramienta de calificación energética que evalúa el consumo de energía del edificio objeto de estudio, y lo califica en función de las emisiones de CO₂ asociadas al tipo de combustible que emplee. Para ello analiza en primer lugar la demanda a atender en el edificio, y en segundo lugar, de acuerdo a los sistemas que se definan para atender dicha demanda y su rendimiento establece el consumo energético que supondrá mantener unas condiciones de confort determinadas. Para que el programa pueda calcular el consumo y las emisiones asociadas es necesario definir en detalle las características de los equipos, el diseño de la instalación (sectorización) y el nivel de control y regulación de cada local, lo que permite que el programa informe también del rendimiento medio estacional de los sistemas del edificio que para efectos de este trabajo es la información más relevante.

6.1 Certificación energética con el programa CALENER VYP:

La certificación energética mediante la herramienta CALENER se establece a partir de unas ecuaciones que comparan el índice de calificación energética (C) para cada indicador energético, es decir, la relación entre el valor del indicador estimado para el edificio objeto y el valor del indicador correspondiente a edificio de referencia.

$$IEE = \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}}$$

En el caso de un cálculo energético de edificios existentes, el índice se debería obtener a través de datos reales de consumos, y a partir de ellos, de las emisiones correspondientes. Para los edificios existentes no podría utilizarse este sistema pero actualmente no existe ningún procedimiento de normalización, y no disponemos de otra escala para calificar el edificio. Pero de todas maneras en edificios existentes, como es el caso, el aspecto clave no es tanto la letra que alcanza en su situación actual, sino, hallar cuales son las posibilidades de mejora de su eficiencia energética.

El procedimiento completo para la obtención de las clases de eficiencia comprende las siguientes etapas:

1. Obtención de los indicadores energéticos correspondientes al edificio objeto, I objeto, los que se obtienen mediante CALENER o cualquier procedimiento alternativo.
2. Obtención de los indicadores energéticos de referencia, I referencia, que depende de cada localidad y se encuentran incorporadas en CALENER. En el caso de Barcelona los indicadores son los siguientes:
 - a. Demanda de calefacción 43,4 KWh/m²
 - b. Demanda de refrigeración 12,1 KWh/m²
 - c. Demanda de ACS 17,4 KWh/m²
 - d. Emisiones de calefacción 13,9 KWh/m²
 - e. Emisiones de refrigeración 3,0 KWh/m²

- f. Consumo de energía primaria calefacción 62,9 KWh/m²
- g. Consumo de energía primaria refrigeración 12,3 KWh/m²
- 3. Obtención de los índices de eficiencia energética, $IEE = I_{objeto} / I_{referencia}$
- 4. Aplicación de los índices de dispersión R, se trata de la aplicación de los una serie de coeficientes de penalización establecidos, para cada instalación, para cada tipo de edificio y zona climática de verano e invierno.
- 5. Obtención de los índices de calificación $C = \left(\left(\frac{I_{objeto}}{I_{referencia}} R \right) - \frac{1}{2} (R - 1) \right) + 0,6$
- 6. Asignación de las clases de eficiencia asociadas a cada índice de la calificación

De esta manera se obtiene la clase energética de cada uno de los consumos calculados por CALENER, conociendo así la clase de cada instalación, pero no corresponden a la clasificación global del edificio. Esta clasificación global se halla mediante las emisiones totales de la instalación, sumando todas las emisiones en KgCO₂/m² calculados por el programa.

A continuación se detalla cómo se obtienen los valores de los límites entre clases para elaborar la etiqueta energética:

Para hallar la clasificación, depende principalmente como ya hemos visto, de la zona climática, que nos marca los índices de eficiencia energética, denominados IEE, marcando una demanda, un consumo y unas emisiones medias por m² en el edificio de referencia. Para los que nos basamos en los índices de calificación de edificios de pequeño terciario:

- Clase A si $C < 0.40$
- Clase B si $0.40 \leq C < 0.65$
- Clase C si $0.65 \leq C < 1.00$
- Clase D si $1.00 \leq C < 1.30$
- Clase E si $1.30 \leq C < 1.60$
- Clase F si $1.60 \leq C < 2.00$
- Clase G si $2.00 \leq C$

Sobre este baremo general hay que hallar los índices de calificación energética para nuestra zona climática. Esto simplemente se consigue aislando en la formula las variables que nos interesa conseguir $IEE = \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}}$

$$\frac{I_{objeto}}{I_{referencia}} = \frac{(1 + (C - 0,6) \cdot 2(R - 1))}{R}$$

Sobre esta fórmula se aplica a cada índice de calificación, C, y los resultados obtenidos, una vez multiplicados por consumos o emisiones de referencia, detalladas anteriormente, da como resultado la calificación energética de los edificios.

6.2 Metodología de cálculo:

CALENER al igual que LIDER define de forma automática un edificio de referencia con el que compara las prestaciones del edificio objeto y determina la calificación energética.

Una vez que el usuario ha introducido el proyecto (geometría del edificio, materiales, sistemas de calefacción y aire acondicionado, agua caliente sanitaria e iluminación), CALENER califica energéticamente mediante los siguientes pasos:

1. Simulación horaria del edificio introducido por el usuario, "edificio objeto", para obtener su consumo de energía final.
2. Cálculo de las emisiones asociadas al edificio objeto, considerando todos los tipos de energía.
3. Definición del edificio de referencia. CALENER modifica el "edificio objeto" para crear el "edificio de referencia".
4. Simulación horaria del edificio de referencia para obtener el consumo.
5. Cálculo de las emisiones asociadas al edificio de referencia.
6. Finalmente la Calificación Energética se obtiene mediante la comparación entre las emisiones del edificio objeto y las del edificio de referencia.

La calificación energética, como ya hemos comentado en el apartado anterior, se realiza en porcentaje de mejora del edificio objeto respecto al de referencia.

6.3 Definición de sistemas y componentes del edificio:

Para la introducción de datos en CALENER, no se ha partido de cero, este programa es perfectamente compatible con LIDER, y se ha exportado toda la definición gráfica que se ha usado para el cálculo de eficiencia energética de la envolvente del edificio: definición volumétrica, orientación, emplazamiento, sombras, cerramientos, elementos constructivos, horas de uso y ocupación, renovaciones hora, iluminación, persianas, etc.

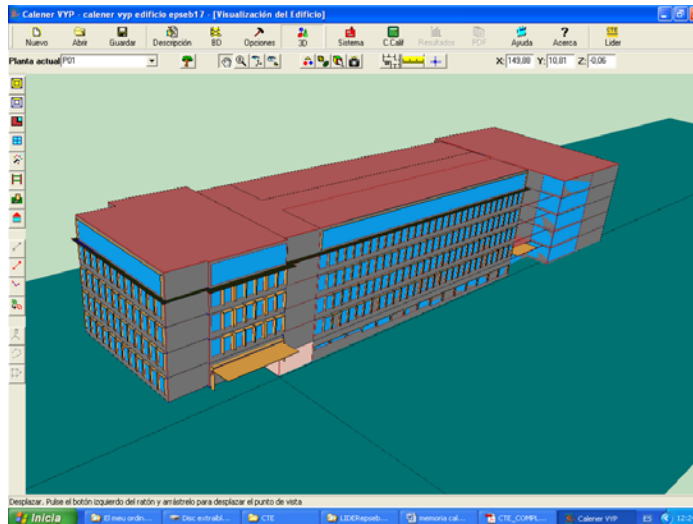


Figura 5.1: Vista 3D del edificio introducido.

Una vez se han definido las características generales y el perfil de uso del edificio, se han de definir los sistemas previstos para atender la demanda energética del edificio: demanda de ACS, unidades terminales, equipos, sistemas, y factores de corrección.

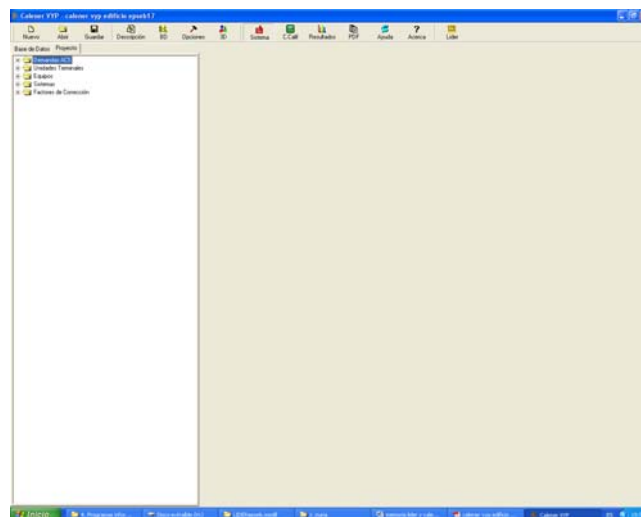


Figura 6.2: Pagina inicial - Introducción de sistemas.

6.3.1 Demanda de ACS

El programa CALENER cuando se introduce este dato aplica un consumo por defecto, así que se ha de revisar según las características de cada edificio. Para calcular la demanda del edificio de ACS, se utilizan los varemos de consumos incluidos en el CTE DB-HE4.

En el edificio EPSEB, como ya hemos comentado anteriormente, solo hay instalación de agua caliente en el bar y los vestuarios para trabajadores situados en el semisótano del edificio.

Según la normativa se ha tenido en cuenta:

- Vestuarios/Duchas colectivas 15 por servicio
- Restaurantes 5 a 10 por comida
- Cafeterías 1 por almuerzo

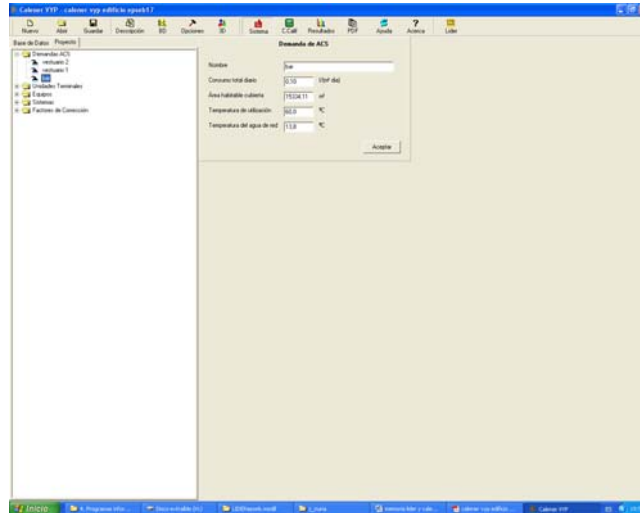


Figura 6.3: Introducción de la demanda de ACS.

6.3.2 Unidades terminales, Equipos, Sistemas y factores de corrección

El programa CALENER_VYP permite la simulación de gran variedad de sistemas de refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria. Pero la ausencia de clasificación de las distintas soluciones obliga al usuario a realizar una selección de los componentes y con ellos puede modelarse el sistema que se necesita.

Para ello es necesario entender previamente la estructura de los objetos que se han de introducir en el programa. En este proceso cualquier instalación estará compuesta por un objeto que define el tipo de Sistema, este contiene uno o varios objetos que se definen como Equipos y Unidades Terminales.

El objeto sistema no es identificable a un objeto físico, es el que contiene la información sobre el control de los equipos que lo componen y en qué zonas actúan, lo podríamos llamar instalación global. En cambio, equipo y unidad Terminal si se puede identificar con un objeto físico de la instalación, para nuestro edificio serían:

- Equipos: calderas y condensadoras
- Unidad Terminales: radiadores, unidades de impulsión de aire.

En el manual de usuario de Calener VYP v1.0 se pueden consultar todas las combinaciones de sistemas, equipos y unidades terminales para introducir correctamente cualquier instalación en el programa.

6.3.2.1 Unidades terminales

Primero se introducen esta serie de datos que corresponden a los elementos de emisión interiores tanto de calefacción como de refrigeración. Para su introducción hace falta conocer una serie de características de cada elemento.

Unidades de Agua Caliente

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan calefacción a un conjunto de zonas mediante unidades terminales de agua caliente. El sistema contiene una o más unidades terminales de agua caliente, cada una de estas unidades terminales apunta a una zona a la que abastece.

El equipo generador de calor se trata de dos calderas con varias bombas de calor aire-agua.

Para poder introducir la instalación en el programa, se ha hecho una toma de datos *in situ* de todas las salas del edificio. Conociendo así, el número de elementos, número de radiadores, altura de estos y el material del que están compuestos. Mediante estos datos se puede calcular la capacidad nominal de la instalación, por cada espacio del edificio, que es la base que usa el programa.

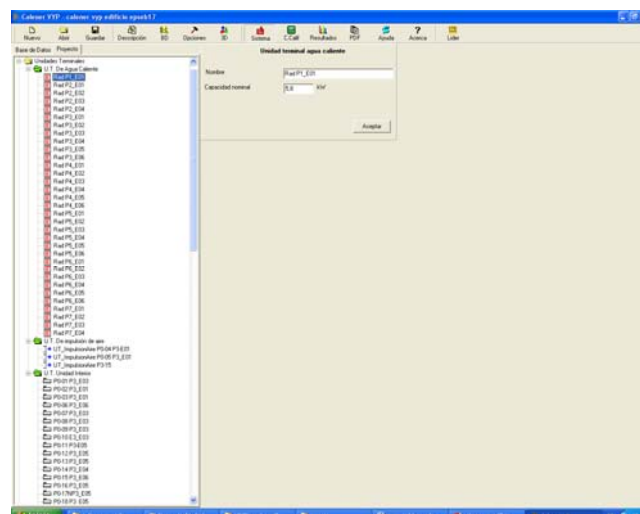


Figura 5.4: Introducción de unidades de Agua caliente.

Unidades de impulsión de aire

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan refrigeración y/o calefacción a un conjunto de zonas mediante una red de conductos que impulsan aire para abastecer la demanda en diferentes zonas.

Para poder introducir los datos en el programa, se pidió a los servicios de mantenimiento un listado de máquinas de aire acondicionado del edificio. En esta lista, que podemos consultar en el anexo 3, indica las unidades, marcas del modelo y el tipo de instalación. Con este listado y mediante los catálogos de cada marca comercial se han extraído los datos necesarios de cada una de las máquinas, o en el caso de no encontrarse se ha buscado una de potencia similar.

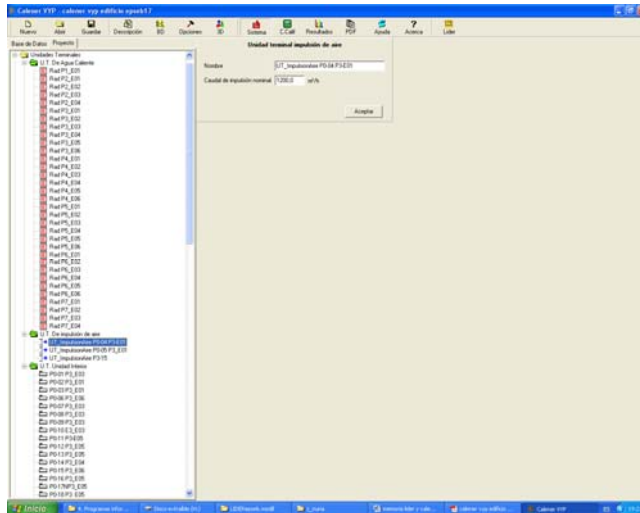


Figura 5.5: Introducción de unidades de impulsión de aire.

Unidad de expansión directa

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan refrigeración y/o calefacción a un conjunto de zonas mediante unidades interiores en expansión directa conectadas a través de tuberías de refrigerante con una unidad exterior, comúnmente denominados "multisplit".

Para poder introducir los datos en el programa se utilizó el listado ya mencionado anteriormente. Con este listado y mediante los catálogos de cada marca comercial se ha extraído los datos necesarios de cada una de las evaporadoras y condensadoras del sistema y en el caso de no encontrarse se ha buscado una de potencia similar.

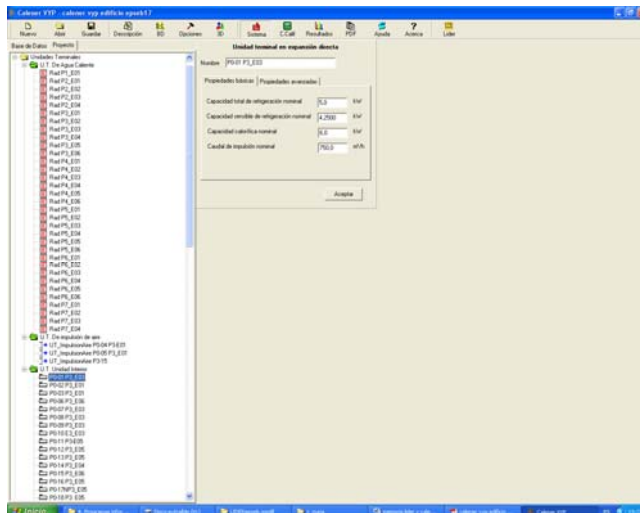


Figura 5.6: Introducción de unidades expansión directa.

6.3.2.2 Equipos

Caldera

Para la introducción de las calderas el programa CALENER ya cuenta con una base de datos por defecto de todos los tipos de calderas, de manera que no hace falta crearla y al importarla automáticamente se importan los factores de corrección de los equipos.

De esta manera los únicos datos que requerimos para la introducción de los equipos de calefacción es conocer su potencia, rendimiento y el tipo de energía que utiliza. Datos sencillos de conocer puesto que son máquinas y modelos todavía existentes en el mercado y hemos tenido acceso a todas las instalaciones de calefacción y ACS.

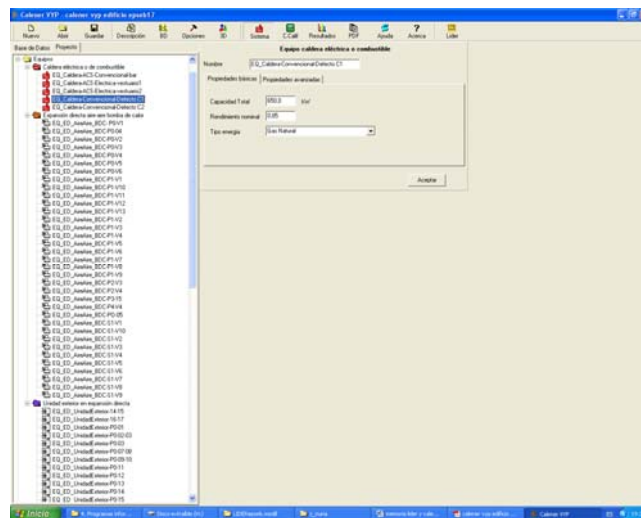


Figura 5.7: Introducción de caldera.

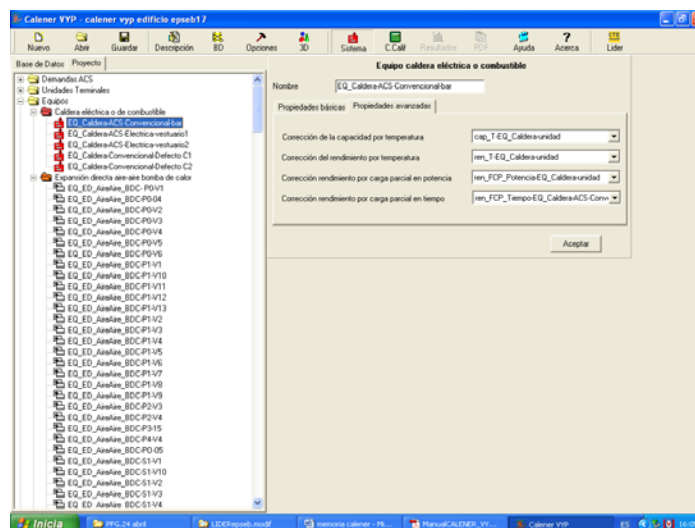


Figura 5.8: Factores de corrección de los equipos.

Expansión directa aire-aire bomba de calor

Para la introducción de las fan-coils el programa CALENER ya cuenta con una base de datos por defecto ya comentada anteriormente.

De esta manera los únicos datos que requerimos para la introducción del sistema en el programa, son las capacidades nominales de refrigeración y caloríficas, sus consumos, así como el caudal de impulsión.

Para hallar estos datos, se utilizó nuevamente, el listado facilitado por los servicios de mantenimiento, que en este caso solo nos sirvió para saber cuántas máquinas existían y su ubicación, ya que son unidades muy antiguas e imposibles de encontrar los datos en un catálogo. Para solventar este inconveniente se consultó las potencias de estos aparatos y se buscó uno en el mercado actual de igual potencia.

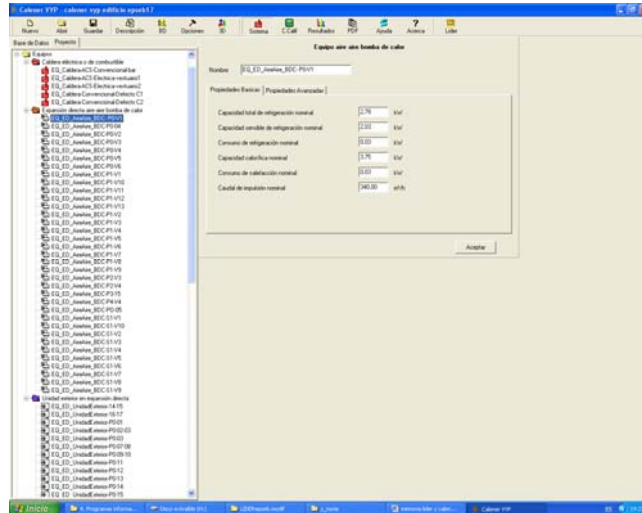


Figura 5.9: Introducción de fan-coil.

Unidad exterior de expansión directa

Para la introducción de las splits, se ha utilizado el mismo método que se ha explicado en el apartado anterior.

En este caso el programa requiere las capacidades nominales de refrigeración y calefacción, y sus consumos. Datos que han sido fácilmente encontrados, en catálogos de los últimos 3 años de las diferentes marcas, sabiendo los modelos colocados.

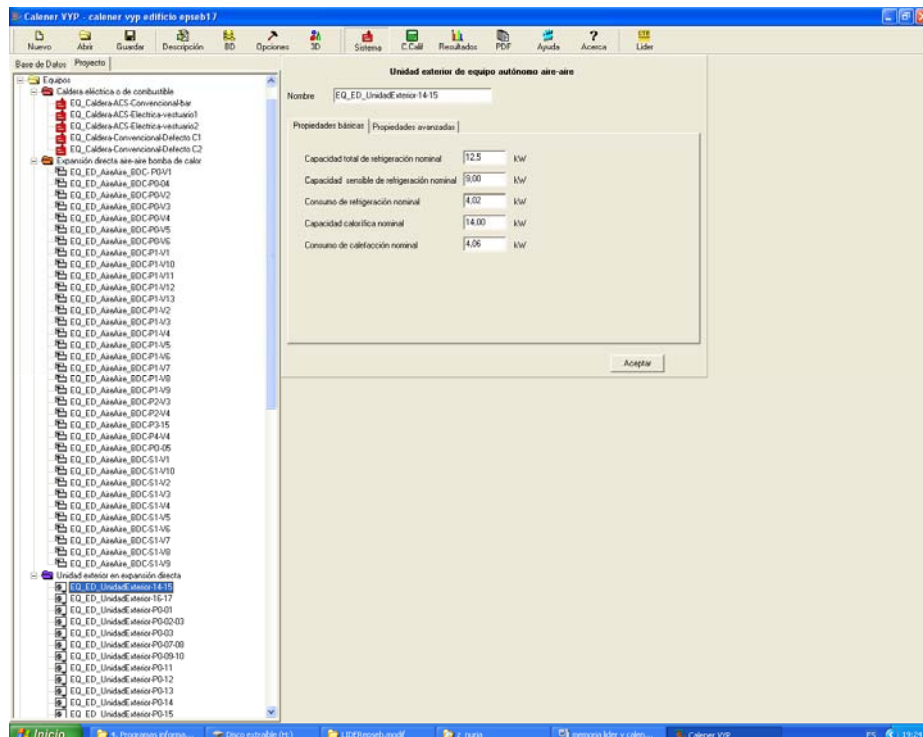


Figura 5.10: Introducción condensadora.

6.3.2.3 Sistemas

Una vez se han introducido en el programa todas las unidades terminales y equipos de los que se compone la instalación en este apartado solo es necesario asignar en un mismo sistema una o varias unidades terminales a un equipo y a su vez asignarles una zona o varias zonas a las que abastecen.

6.3.2.4 Factores de corrección

La simulación de los equipos se basa en el uso de funciones que suministran el comportamiento del equipo dependiendo de determinadas variables exteriores al mismo. Estas funciones de variación se suministran a los equipos a través de referencias llamadas factor de corrección que el programa incorpora vinculadas a cada equipo.

6.4 Análisis de resultados del cálculo de la certificación energética del edificio existente

A continuación vemos los resultados del cálculo con el programa CALENER, este programa genera una vista de la etiqueta energética, con la situación de nuestro edificio dentro de la calificación.

Esta no es la etiqueta real del edificio, ya que debe ser emitida por el órgano competente de cada comunidad. En nuestro caso, en Cataluña, este cálculo es remitido al ICAEN, que en menos de un mes comprueba los datos recibidos y reenvía la etiqueta del edificio en fase de proyecto o fase final.

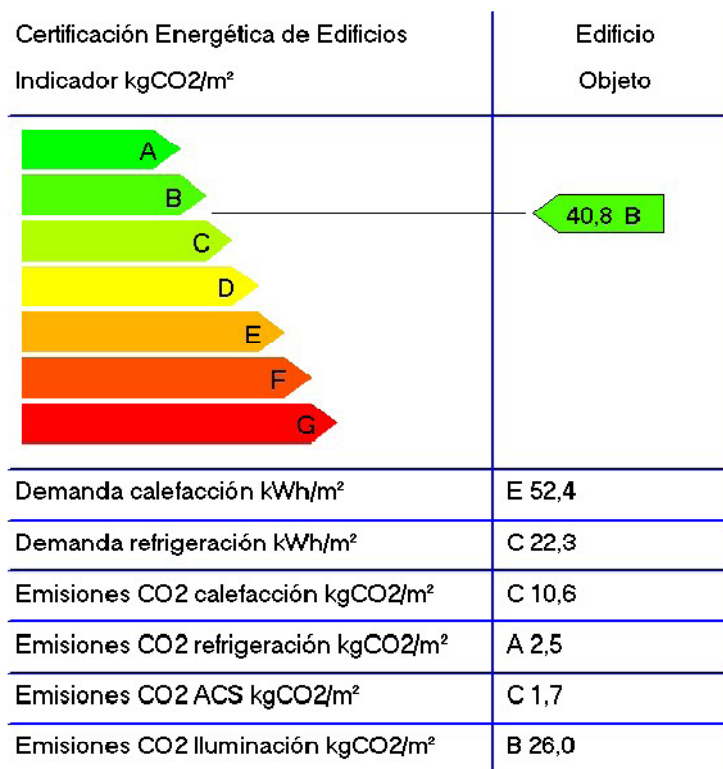


Figura 6.11: Etiqueta energética.

Como podemos observar la calificación global del edificio es muy alta, Clase B, es un buen resultado y sobre todo para un edificio existente con las características constructivas de este edificio en concreto.

Si analizamos las clases de cada instalación, de entrada, podemos ver varios datos a comentar:

Por un lado, la demanda de calefacción y sus emisiones son correctas ya que la demanda es igual que el resultado que conocíamos mediante el cálculo en el LIDER. La calificación parcial para la calefacción es una E, esto podría ser debido a que el edificio no tiene calderas de alto rendimiento.

Como ya comentamos en el capítulo anterior, en la figura 4.15, el consumo en los meses más fríos del año es menor a la demanda calculada por el programa LIDER, según los usuarios del edificio, en estos meses es necesario el uso de aparatos eléctricos para alcanzar los niveles de confort térmico. La conclusión es que la instalación no es adecuada a la demanda del edificio y si lo fuera aumentarían las emisiones de CO₂ obteniendo una calificación parcial inferior.

En el caso de la refrigeración la demanda es baja, cosa que hace que las emisiones lo sean también, la calificación parcial para la refrigeración es una A, pero hay que tener en cuenta que no hay sistema de refrigeración para todo el edificio, solo en un 32% de los espacios. Esto nos lleva a pensar que si el edificio tuviera refrigeración en casi su totalidad, las emisiones aumentarían considerablemente, pudiendo afectar a la calificación parcial. En este caso podríamos decir que “No hay mayor ahorro que no consumir”.

En la instalación de agua caliente sanitaria (ACS), la calificación parcial es C, esto es debido a que en el edificio solo existe ACS en dos espacios, vestuarios de planta semisótano y cafetería, y el consumo es mínimo. Esta instalación no tiene un buen rendimiento y tiene altas emisiones, si pretendiéramos dar agua caliente sanitaria a todo el edificio con este sistema la calificación parcial sería muy baja.

Por último, la calificación parcial de la instalación de iluminación es B, en principio podríamos pensar que es una buena calificación, pero si miramos las emisiones comprobamos que se trata de un 60% del total. Este será un punto importante a la hora de proponer actuaciones que mejoren la calificación energética de nuestro edificio.

A continuación se adjunta los resultados de calificación energética de demanda, consumo y emisiones de CO₂, comparadas con las que tendría un edificio de iguales características con unas instalaciones, de iguales condiciones, que aseguren el confort térmico de los usuarios.

The screenshot shows a window titled 'Resultados' with a 'Gráfico' tab and a 'Resultados' tab. The 'Resultados' tab contains four tables comparing 'Edificio Objeto' and 'Edificio Referencia' across various energy metrics. A note at the bottom states: '* Estas demandas son de energía sensible y no incluyen las debidas a la ventilación en los sistemas'. A 'Cerrar' button is located at the bottom right of the window.

| * Demandas (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 52,4 | 29,0 |
| Refrigeración | 22,3 | 31,2 |

| Consumos Energía Final (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|--|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 34,5 | 38,0 |
| Refrigeración | 3,9 | 15,0 |
| ACS | 3,7 | 2,7 |
| Iluminación | 40,1 | 62,6 |
| Total | 82,0 | 118,4 |

| Consumos Energía Primaria (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|---|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 47,7 | 41,1 |
| Refrigeración | 10,0 | 39,2 |
| ACS | 7,2 | 7,1 |
| Iluminación | 104,3 | 163,0 |
| Total | 169,2 | 250,4 |

| Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|---|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 10,6 | 10,9 |
| Refrigeración | 2,5 | 9,8 |
| ACS | 1,7 | 1,8 |
| Iluminación | 26,0 | 40,6 |
| Total | 40,8 | 63,1 |

Figura 6.12: Resumen de calculos.

La calificación global se calcula mediante las emisiones de CO₂, estas como podemos ver en la figura anterior son mucho mayores en el edificio de referencia, esto nos indica que las instalaciones de nuestro edificio no son las necesarias y que probablemente si intentásemos cumplir con los requisitos mínimos de CTE, sin modificar el tipo de instalaciones existentes, nuestra calificación sería muy inferior a la obtenida.

6.5 Análisis de resultados del cálculo de la certificación energética introduciendo la mejora de ventanas del edificio

Al igual que con el LIDER, se realizó de nuevo el cálculo de certificación energética con CALENER, incluyendo la modificación de las características de las nuevas ventanas.

Como podemos ver aparecen pequeñas variaciones en los cálculos de certificaciones parciales, que comentaremos a continuación. Pero vale la pena remarcar a priori que como vemos la calificación global apenas varía.

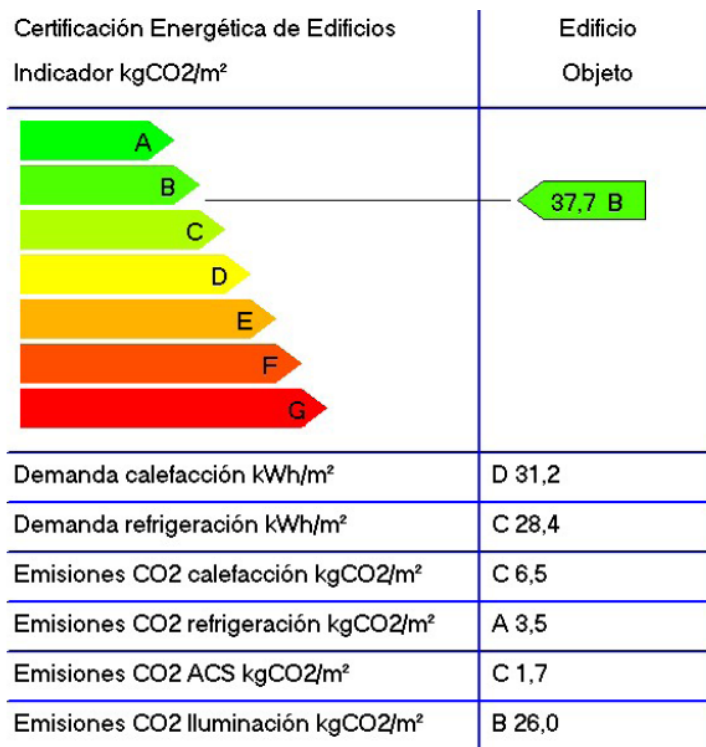


Figura 6.13: Etiqueta energética.

En lo referente a la demanda de calefacción, la calificación parcial ha mejorado, siendo ahora una D, y como vemos la demanda ha bajado aproximadamente 20 kWh/m², es una mejora importante en el conjunto global del edificio.

Como también se puede observar descienden las emisiones de CO2, aunque no afecta a la calificación parcial de estas. Este cambio se debe a que con las nuevas carpinterías no se producen tantas pérdidas a través de los marcos y los vidrios, necesitando por tanto, menos aporte de térmico de calefacción.

Por otro lado, en la calificación parcial de la refrigeración se observa que ha aumentado la demanda de refrigeración, aunque manteniendo la calificación C, hecho que se produce por la misma razón ya comentada en el párrafo anterior, el cambio de carpinterías.

Al haber menos infiltración de aire por la baja permeabilidad de las nuevas ventanas, existe menos pérdida de aire caliente en verano, produciendo así, un incremento de la necesidad de refrigeración. Lo que se traduce también en un incremento de las emisiones de CO2.

Respecto a las emisiones de la instalación de agua caliente sanitaria (ACS), como no se ha actuado sobre la instalación no existe variación alguna.

Y en las emisiones de la instalación de iluminación, tampoco existe ninguna variación.

A continuación se adjunta los resultados de calificación energética de demanda, consumo y emisiones de CO₂, comparadas con las que tendría un edificio de iguales características con unas instalaciones, de iguales condiciones, que aseguren el confort térmico de los usuarios.

Resultados

Gráfico Resultados

| * Demandas (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 31,2 | 18,1 |
| Refrigeración | 28,4 | 33,7 |

| Consumos Energía Final (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|--|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 21,5 | 23,5 |
| Refrigeración | 5,4 | 16,3 |
| ACS | 3,7 | 2,7 |
| Iluminación | 40,1 | 62,6 |
| Total | 70,7 | 105,2 |

| Consumos Energía Primaria (kWh/m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|---|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 29,5 | 25,4 |
| Refrigeración | 14,2 | 42,4 |
| ACS | 7,2 | 7,1 |
| Iluminación | 104,3 | 163,0 |
| Total | 155,1 | 238,0 |

| Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ²) | Edificio Objeto | Edificio Referencia |
|---|-----------------|---------------------|
| Calefacción | 6,5 | 6,8 |
| Refrigeración | 3,5 | 10,6 |
| ACS | 1,7 | 1,8 |
| Iluminación | 26,0 | 40,6 |
| Total | 37,7 | 59,8 |

* Estas demandas son de energía sensible y no incluyen las debidas a la ventilación en los sistemas

Cerrar

Figura 6.14: Resumen de calculos..

Con estos datos podemos observar porque no ha variado mucho la calificación global del edificio. Con la modificación de las características de las ventanas, la demanda de calefacción ha descendido considerablemente, pero por otro lado, la demanda del edificio de referencia también ha descendido, aunque en menor proporción, haciendo así, que la calificación global casi no varíe.

Aunque es importante observar que la instalación de calefacción sigue siendo insuficiente, ya que el consumo del edificio continúa siendo menor a la del edificio de referencia.

7 Propuesta de mejoras

El cambio de carpinterías ha sido la primera intervención en el edificio para intentar mejorar su comportamiento térmico.

Las principales ventajas de la sustitución de las ventanas pueden ser entre otros las siguientes:

- Reducción de la factura energética, lo que comporta la amortización de la intervención en los años posteriores a la realización de la obra.
- Mejora de la seguridad de los usuarios frente al riesgo de rotura de los vidrios, los vidrios laminares son de rotura segura.
- Mejora del confort térmico de los usuarios con motivo de la eliminación del efecto de pared fría.
- Ayuda a la reducción de emisiones de CO₂ debido a la reducción de efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente.
- Reducción de las entradas no deseadas de aire a través de los cerramientos.
- Reducción de las condensaciones superficiales, inferior y de las patologías ligadas a las mismas.
- Se mejora considerablemente el comportamiento acústico respecto a los sonidos exteriores.
- Reducción de la acción de la radiación ultravioleta al colocar un butilo entre los vidrios.
- Esta intervención no supone una pérdida de la superficie útil del edificio
- Se recupera la uniformidad estética de las fachadas del edificio.

Con esta intervención se ha conseguido una mejora en la envolvente del edificio que se traduce en una reducción de las emisiones de CO₂, al disminuir las necesidades de calefacción del edificio.

En la piel del edificio es muy difícil realizar alguna otra intervención, como podría ser el aislamiento de todos los cerramientos, ya que por la composición arquitectónica del edificio existe gran número de puentes térmicos imposibles de solventar sin modificar la estética original del edificio. Una excepción, sería incluir aislamiento en algunas pequeñas cubiertas del edificio que no han sido intervenidas y tienen pérdidas importantes, como por ejemplo el vestíbulo del acceso al edificio 2.

Se debería realizar una intervención sobre los elementos que producen más emisiones de CO₂, que es la iluminación del edificio. Según el cálculo del CALENER las emisiones de iluminación son un 61,6% de la total.

Para conseguir la reducción de CO₂ en la iluminación la instalación tiene que ser eficiente y ajustarse a los valores límite de eficiencia energética según el uso de la zona marcadas por el CTE DB-HE 3.

Para llevar a cabo un ahorro significativo en este tipo de instalaciones, se estudian los elementos de iluminación de las instalaciones y se pueden realizar diversas acciones:

- Sustitución de reactancias electromagnéticas por electrónicas.
- Sustitución de tubos fluorescentes estándar por trifósforos.
- Introducir regulación por sensores de presencia, temporizadores u otros tipos de controles.
- Mejorar los difusores añadiéndoles reflectores.

- Sustitución de los difusores ineficientes por nuevos difusores.
- Reemplazar las lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas de la clase A o por otros sistemas eficientes.
- Y en general cualquier otra medida capaz de ahorrar energía en iluminación, ya que en muchas ocasiones se emplean tecnologías de iluminación que no se adaptan a las necesidades del espacio en las que se encuentran instaladas y dan lugar a unas condiciones de trabajo con excesivo calor, deficiente iluminación y por supuesto con un mayor consumo.

En este tipo de actuaciones se obtienen reducciones de hasta un 30% en el consumo de electricidad logrando una mayor calidad de iluminación.

Se podrían instalar sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana.

Es importante tener en cuenta que una posible intervención también en la calefacción, en este caso pensamos que no sería una actuación que variase mucho la calificación energética global del edificio. Aunque con la instalación existente, sustituyendo las calderas actuales por unas de microgeneración o calderas de condensación, mejoraría el consumo y el rendimiento de la instalación.

8 Conclusiones/Recomendaciones

La intención de este proyecto ha sido realizar un estudio energético de la piel del edificio y a su vez comparar los valores teóricos con valores experimentales, es decir, conocer los parámetros de transmitancia reales del edificio y poder compararlo con los valores dados por la normativa vigente. Además durante el proceso de estudio saber qué influencia tienen cada uno de estos parámetros dentro del global del edificio.

Se han realizado una serie de ensayos en las diferentes orientaciones y soluciones constructivas de la fachada, tanto opacas como traslucidas, para conocer las transmisiones de flujo calor (H). Para realizar este ensayo se han utilizado diferentes instrumentos de medición, como el fluxómetro y medidores de temperatura.

Mediante estos ensayos hemos observado que para el mismo tipo de vidrio hay una gran variación de la transmitancia térmica (U) según su orientación y día del ensayo. Además en nuestras mediciones este valor es inferior al dado por el CTE.

Viendo todo esto decidimos calcular la U real del vidrio mediante un ensayo. Se colocó un fluxómetro para medir la transmisión del flujo, un termopar en el interior y otro en el exterior para medir las temperaturas superficiales. Con los datos obtenidos calculamos la resistividad interior y exterior del material. La interior es poco variable y coincidente con el valor dado por el CTE ($0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$). En cambio la R_{se} tiene gran variabilidad, llegando a ser incluso el doble del valor del CTE ($0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Intentamos analizar por qué se producía esta variabilidad, para lo cual hicimos un estudio de la velocidad del viento. Primero se analizaron las velocidades del viento recogidas por el “Servei meteorològic de Catalunya” en la estación de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona y posteriormente se realizaron unos ensayos *in situ* para conocer la dirección predominante del viento y su incidencia sobre las diferentes fachadas.

Con estos ensayos vimos que en las fachadas donde incide directamente el viento (barlovento) se cumplen los parámetros de R_{se} del CTE ($0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$) medido para una velocidad del viento media de 3m/s.

En cambio en las fachadas protegidas del viento (sotavento) el valor de R_{se} se llega incluso a duplicar, tienen una resistividad exterior mayor y por tanto se mide una transmitancia menor.

Este resultado, indica que es necesario ser muy cuidadosos a la hora de realizar medidas *in situ* ya que las condiciones exteriores pueden afectar considerablemente los valores de transmitancia térmica, y podrían, por tanto, dar lugar a errores importantes en la determinación de los parámetros correspondientes a los vidrios.

Por otro lado, los resultados también nos indican que el CTE se queda con el valor más desfavorable y lo aplica por igual a todos los casos.

Mediante el estudio también se ha detectado que, no sólo se deberá tener en cuenta la velocidad del viento, sino que la radiación solar también influye en los resultados obtenidos. La radiación solar cuando incide en los vidrios, calienta la superficie de este, ayudando a compensar las pérdidas de flujo de calor o incluso aportando calor del exterior al interior.

En la segunda parte del proyecto se ha realizado dos estudios energéticos del edificio, el primero con los datos existentes del edificio y el segundo introduciendo el cambio de carpinterías que se ha llevado a cabo durante el desarrollo de este proyecto.

Para ello se han utilizado los programas informáticos LIDER y CALENER, que corresponden al método general de certificación energética.

Primero introducimos en el LIDER los datos generales del edificio, definición geométrica y definición de materiales de las diferentes soluciones constructivas, y se obtienen los valores de las demandas energéticas totales y de cada uno de los espacios definidos en el edificio.

Los resultados del edificio existente, en lo referente a la calefacción, indican que la demanda del edificio EPSEB supera en un 81% la demanda del edificio de referencia, mientras que la demanda de refrigeración es un 28% más baja que el edificio de referencia.

En lo referente al consumo máximo global, 53 KWh/m² en calefacción, es importante remarcar que en la normativa energética española el consumo máximo permitido en los edificios de de 50 KWh/m², es decir, que no es tan desfavorable como podríamos esperar.

Una vez obtenidos estos datos se ha realizado una comparación con los consumos reales facilitados por el servicio de mantenimiento de la universidad. El consumo del edificio en general es menor que la demanda energética calculada por LIDER. Esto nos podría estar indicando que realmente la instalación es menor a la necesaria o no tiene el rendimiento óptimo, es decir, en el edificio se podría estar pasando frío.

Recalculamos el edificio introduciendo el cambio de ventanas y los resultados de calefacción indican que la demanda del edificio EPSEB supera en un 90% la demanda del edificio de referencia. Y por otro lado que la demanda de refrigeración del edificio EPSEB es un 16% más baja que el edificio de referencia. Esto no significa que con la modificación aumenta el consumo del edificio, es la proporción con el edificio de referencia que a la vez ha disminuido la demanda y hace que varíe la proporción total.

Hay una disminución de demanda muy alta, de 4 KW/hm², que como veremos más adelante repercute enormemente sobre el consumo del edificio anualmente. Es debida directamente a la disminución de pérdida de calor a través de las carpinterías, tanto en transmisión de calor como en infiltraciones de aire.

Con este dato global se comprueba que con el cambio de ventanas se ha reducido la demanda de calefacción a la mitad y por otro lado el aumento de la demanda de refrigeración, siendo la demanda máxima del edificio esta vez en verano. Esta es de 31'3 Kw/hm², estando así dentro del consumo máximo permitido por la normativa energética española.

Lo que sí que se puede prever es que la disminución del consumo del edificio en lo referente a la calefacción no será del 50%, tal y como calcula el programa LIDER, puesto que como ya adelantamos en el cálculo anterior en el edificio se pasa frío.

Una vez conocido el comportamiento energético de la piel de nuestro edificio se exportaron los datos al programa CALENER, para mediante el proceso de certificación energética conocer cuáles son los rendimientos de las instalaciones del edificio EPSEB.

Una vez definidas las características generales y el perfil de uso del edificio, se han de definir los sistemas previstos para atender la demanda energética del edificio: demanda de ACS, unidades terminales, equipos, sistemas, y factores de corrección.

En los resultados del cálculo sobre el edificio existente la calificación global del edificio es muy alta, Clase B. Es un buen resultado, sobre todo para un edificio con las características constructivas de este edificio en concreto.

Analizando las calificaciones de cada instalación, podemos ver varios datos a comentar:

Por un lado, la demanda de calefacción y sus emisiones son correctas ya que la demanda es igual que el resultado que conocíamos mediante el cálculo en el LIDER. La calificación parcial para la calefacción es una E, lo que podría ser debido a que el edificio no tiene calderas de alto rendimiento.

Como ya observamos en el cálculo con el programa LIDER el consumo en los meses más fríos del año es menor a la demanda y, según los usuarios del edificio, en estos meses es necesario el uso de aparatos eléctricos para alcanzar los niveles de confort térmico. La conclusión es que la instalación no es adecuada a la demanda del edificio y si lo fuera aumentarían las emisiones de CO₂ obteniendo una calificación parcial inferior.

En el caso de la refrigeración la demanda es baja, cosa que hace que las emisiones lo sean también, la calificación parcial para la refrigeración es una C, pero hay que tener en cuenta que no hay sistema de refrigeración para todo el edificio, sólo en un 40% de los espacios.

Esto nos lleva a pensar que si el edificio tuviera refrigeración en casi su totalidad, las emisiones aumentarían considerablemente, pudiendo afectar a la calificación parcial. En la instalación de agua caliente sanitaria (ACS), la calificación parcial es A, la mejor hasta el momento. Esto es debido a que en el edificio sólo existe ACS en dos espacios, vestuarios de planta semisótano y cafetería, y el consumo es mínimo. “No hay mayor ahorro que no consumir”.

Por último, la calificación parcial de la instalación de iluminación es B. En principio podríamos pensar que es una buena calificación, pero si miramos las emisiones comprobamos que se trata de un 60% del total. Este será un punto importante a la hora de proponer actuaciones que mejoren la calificación energética de nuestro edificio.

La clasificación global se calcula mediante las emisiones de CO₂. Estas como son mucho mayores en el edificio de referencia, lo que nos indica que las instalaciones de nuestro edificio no son las necesarias y que probablemente si intentásemos cumplir con los requisitos mínimos de CTE, sin modificar el tipo de instalaciones existentes, nuestra calificación sería muy inferior a la obtenida.

Y como ya hicimos en LIDER, recalculamos el edificio con CALENER introduciendo el cambio de ventanas que se produjo durante la realización de este estudio, obteniendo los siguientes resultados:

El primer dato importante que vemos es que la calificación global apenas varía.

En lo referente a la demanda de calefacción, la calificación parcial ha mejorado, siendo ahora una D. La demanda ha bajado aproximadamente 20 KWh/m², lo que una mejora importante en el conjunto global del edificio.

También descienden las emisiones de CO₂, aunque no afecta a la calificación parcial de éstas. Este cambio se debe a que con las nuevas carpinterías no se producen tantas pérdidas a través de los marcos y los vidrios, necesitando por tanto menos aporte de térmico de calefacción.

Por otro lado, en la calificación parcial de la refrigeración ha aumentado la demanda de refrigeración, aunque manteniendo la calificación, C, hecho que se produce por la misma razón ya comentada en el párrafo anterior, el cambio de carpinterías.

Al haber menos infiltración de aire por la baja permeabilidad de las nuevas ventanas, existe menos pérdida de aire caliente en verano, produciendo así, un incremento de la necesidad de refrigeración. Esto se traduce también en un incremento de las emisiones de CO₂.

Respecto a las emisiones de la instalación de agua caliente sanitaria (ACS), como no se ha intervenido en la instalación no existe variación alguna en los resultados. Y en las emisiones de la instalación de iluminación, tampoco existe ninguna variación.

Con estos datos podemos observar por qué no ha variado mucho la calificación global del edificio. Con la modificación de las características de las ventanas, la demanda de calefacción ha descendido considerablemente, pero por otro lado la demanda del edificio de referencia también ha descendido, aunque en menor proporción, haciendo así que la calificación global casi no varíe.

Es importante observar que la instalación de calefacción sigue siendo insuficiente, ya que el consumo del edificio continúa siendo menor a la del edificio de referencia.

Con los datos que ahora disponemos sobre el comportamiento energético del edificio EPSEB concluimos que se podrían hacer las siguientes intervenciones, con el fin de buscar un comportamiento más eficiente y una mejora evidente en la calificación global del edificio.

En la piel del edificio es muy difícil realizar alguna otra intervención, como podría ser el aislamiento de todos los cerramientos, ya que por la composición arquitectónica del edificio existe gran número de puentes térmicos imposibles de solventar sin modificar la estética original del edificio.

Se debería realizar una intervención sobre los elementos que producen más emisiones de CO₂, que es la iluminación del edificio. Según el cálculo del CALENER las emisiones de iluminación son un 61,6% del total.

Para conseguir la reducción de CO₂ en la iluminación la instalación tiene que ser eficiente y ajustarse a los valores límite de eficiencia energética según el uso de la zona marcadas por el CTE DB-HE 3. En este tipo de actuaciones se obtienen reducciones de hasta un 30% en el consumo de electricidad logrando una mayor calidad de iluminación.

Es importante tener en cuenta que una posible intervención en la calefacción, posiblemente no mejoraría la calificación energética global del edificio. Sin embargo con la instalación existente, sustituyendo las calderas actuales por unas de microgeneración o calderas de condensación, mejoraría el consumo y el rendimiento de la instalación.

Mediante las diferentes conclusiones recogidas en este estudio, se proponen diferentes trabajos que se podrían ser de interés desarrollar.

El primero sería hacer el desarrollo de un protocolo de medidas *in situ* para tener en cuenta cómo influyen los factores ambientales sobre las fachadas.

El segundo sería el uso de otro software informático para seguir analizando los datos. Un ejemplo puede ser el programa DesingBuilder, que hace un análisis más detallado de los edificios y permite introducir más variables, como por ejemplo la ventilación.

Por último, sería interesante volver a analizar la transmisión de flujo con las nuevas carpinterías. Y a la vez realizar de nuevo la comparación de los consumos del año próximo con los datos obtenidos del LIDER, calculando así cual es el porcentaje de ahorro conseguido y si coincide con lo que nos indican los programas.

Conclusions/Recommendations

The intent of the project was to perform a profound study of the building's skin and at the same time compare the theoretical values with the experimental ones, in other words, get to know real transmission parameters in order to compare them with the values given by the current legislation. Also during the review process we will try to know what influence each of these parameters has within the overall building.

A series of tests have been performed using different orientations and constructive solutions along the facade, both opaque and translucent, in order to know how heat flows through the facade (H). To perform this test a series of measurement instruments have been used, such as the flow meter and temperature gauges.

These tests show that for the same type of glass there is a huge jump in between thermal flow values (U) depending on the given orientation and the day that the test was done. Besides, our measurements indicate that this value is lower than the one given by the CTE.

Seeing all this, we decided to calculate the real U of glass through a test. A flow meter was placed to measure heat flow, a thermocouple inside and another one outside to measure surface temperatures. Data obtained was used to calculate interior and exterior resistance of the material. The interior one varies little and matches the value given by the CTE (0,13 m²K/W). On the other hand, CSR is highly variable, becoming twice the value of CTE (0,04 m²K/W).

We tried to analyze why this variation occurred, so a wind speed test was done. First wind speeds data were collected from the "Meteorological Service of Catalonia" in the station of the Faculty of Physics, University of Barcelona, and afterwards tests were conducted to determine the prevailing wind direction and its impact on different facade.

All this tests lead us to the conclusion that, where wind impacts directly, parameters from the R_{se} CTE (0,04 m²K/W) are met.

Instead, facade with wind protection double R_{se} values. They have an outer resistance bigger, therefore a lower transmission.

This result shows that it is necessary to be very careful when taking measurements in situ since external conditions can significantly affect the heat transmission values, and could lead to significant errors determining the appropriate parameters for glass.

On the other hand, results also indicate that the CTE is left with the worst value and applies equally to all cases.

Tests show not only that wind speed has to be taken into account; but also that solar radiation influences the results. When solar radiation impacts on the glass it warms the glass surface, compensating losses of heat or providing external heat to the interior.

Two more surveys were done. First, with existing data from the building; and second, introducing new window frames which has been carried out during the development of this project.

To do so, we used two software, LIDER and CALENER, that correspond to the general method of energy certification.

First we introduced in LIDER general data from the building, geometric and material composition from the different constructive solutions, obtaining the values of total energy demands and from each of the spaces defined in the building.

The results of the existing building, in relation to heating, indicate that EPSEB's building demand exceeds by 81% the demand of the reference building, while the demand for cooling is 28% lower than the reference building.

Regarding the maximum consumption, 53 KWh/m² heating, it is important to note that the Spanish energy legislation sets the maximum consumption in buildings in 50 KWh/m², it is not as unfavourable as it could be expected.

Based on these data, a comparison with the actual consumption was done, provided by the maintenance service of the university. Building's consumption in general is lower than the one given by LIDER. This could indicate that the existing installation is smaller than what it is really needed, or that its performance is not optimized, thus the building might be getting cold.

We introduced the new data, which includes the new window frames and, and results indicate that EPSEB building demand exceeds by 90% the demand of the reference building. On the other hand, the demand of cooling EPSEB building is 16% lower than the one of the reference building. This doesn't mean that after modifying buildings consumption increases, it is the proportion of the reference building which in turn has reduced the demand and varies the total numbers.

There is a decrease in the demand of 4 KW/hm², which, as we will see, impacts on the building's annual consumption. This is due to less heat loss through window frames, both in heat transfer and in air infiltration.

This global data shows that the new window frames have reduced demand for heating, and, on the other hand, they have increased cooling demand. Now, global demand remains high in summer. This is 31,3 KW/hm², being within the maximum power allowed by Spanish energy legislation.

Buildings consumption will never be reduced to 50% as LIDER calculated since inside the building it is already cold.

Once we knew the energy performance of the building's skin, data was exported to CALENER to analyse how EPSEB building facilities perform.

Once building's use and characteristics have been defined, it lacks how energetic demand will be satisfied: air conditioning, terminal units, equipment, systems, and correction factors.

Building's overall rating is very high, Class B. It is a good result, especially for this building in particular.

Analyzing the scores for each installation, we consider that:

Heating demand and emissions are correct because the demand is equal to the result given by LIDER. Partial score for heating is an E, which could be because the building does not have high efficiency boilers.

As seen in LIDER, during the coldest months of the year consumption is lower than demand and, as users of the building say, in these months it is necessary to use electrical appliances to achieve thermal comfort levels. In conclusion, building facilities are not adequate to the

demand of the building. Therefore, it would increase CO₂ emissions by obtaining a lower partial qualification.

In the case that cooling demand is low, which means emissions are also low, partial rating for cooling is a C, but we must keep in mind that there is no cooling system for the whole building, only 40% of the spaces have it.

This leads us to think that if the building had an entirely cooling system; emissions would increase considerably and may affect the partial rating. Hot water (ACS) facilities partial rating is A, the best so far. This is because the ACS only exists in two spaces, basement's locker rooms and bar, and consumption is minimal. "There is no greater savings, but not consumption."

Finally, partial rating for lighting installation is B. At first we might think it is a good rating, but by checking the emissions we can see that it is 60% of the total. This will be an important point in proposing actions to improve the energy rating of our building.

The overall rating is calculated using CO₂ emissions. These are much higher in the reference building, which tells us that our building facilities are not necessary and probably if we tried to meet the minimum requirements for CTE, without modifying the existing facilities, our score would be less than the one obtained.

And as we did in LIDER, we re-introduced data in CALENER which included the new window frames, obtaining the following results:

The first important fact we see is little change in the overall rating.

Regarding the heating demand, partial rating has improved and is now D. Demand has fallen about 20 KWh/m², a significant improvement in the overall building.

Also CO₂ emissions fall, but it doesn't affect partial rating.

This change is due to the new window frames which reduce heat loss, thus requiring less heat input from heating.

On the other hand, the partial rating for the cooling system has increased its demand, while maintaining the rating C, a fact that occurs for the same reason already mentioned in the preceding paragraph, the change of window frames.

With less air infiltration, caused by the low permeability of the new windows, there is less loss of hot air in summer, producing an increase in the need for refrigeration. This is also reflected in CO₂ emissions.

As no changes were done in Hot Water, facilities' CO₂ emissions haven't varied. Same thing happens with the lighting system.

With the new data the overall rating of the building hasn't change that much. Modifying the window frames has reduced building's heat demand but, on the other hand, the reference building's demand has also descent, maintaining the overall rating almost the same.

It is important to notice that the heating system is still inadequate, as consumption of the building continues to be lower than the one in the reference building.

With the data we now have on the building's energy performance, we conclude that the following interventions could be made in order to seek a more efficient performance and a marked improvement in the overall rating of the building.

In the skin of the building is very difficult to make any other intervention, as it would be in the isolation of all enclosures. Due to the architectural composition of the building there are a large number of thermal bridges impossible to solve without changing the original look of the building.

Intervention should be performed on the element that emits more CO₂, which is the lighting system of the building. According to the calculation of lighting CALENER emissions reach 61,6% of the total.

To achieve the reduction of CO₂ in the lighting installation it has to be efficient and adapt itself to the limit values of energy efficiency established by the CTE DB-HE 3. This kind of actions will reduce 30% of electricity consumption achieving greater lighting quality.

It is important to note that a possible intervention in the heating may not improve the overall building energy rating. However, replacing the existing boilers with condensing boilers, consumption and performance would improve.

With the different findings in this study, we propose different jobs that might be of interest to develop.

The first would be to develop a measurement protocol in place in order to consider how environmental factors affect the façades.

The second one would be the use of other computer software to further analyze the data. For instance, DesingBuilder, which makes a more detailed analysis of the buildings and allows introducing more variables, such as ventilation.

Finally, it would be interesting to analyze again the heat flow through the new window frames. And once again make the comparison of consumption next year with the data obtained from LIDER, thus calculating what percentage of savings achieved and if the results match with those listed by the software.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adelqui Fissore Schiappacasse y Paula Colonelli Pérez – Cotapus. Sistema de Certificación energética de viviendas. IIT – Instituto de investigación tecnológica y asistencia técnica. (2009)
- [2] Clúster de la madera de Galicia. Eficiencia energética.
- [3] Comisión Europea, Dirección general de energía y transporte. La nueva normativa europea para ahorrar energía.
- [4] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del consejo del 16 de Diciembre de 2002, Relativa a la eficiencia energética de los edificios
- [5] Fabián Lopez. Tesis Doctoral sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación. (2006).
- [6] F. wang, D. Wang, X. Wang, J. Yao, A data analysis method for detecting wall thermal resistance considering wind velocity in-situ, Energy and Buildings (2008).
- [7] Idoia Arauzo González, Jesica Ferrer Schwenk. Comparativa sobre calificación energética de viviendas en Europa.
- [8] Informes de la Construcción Vol.62. Enero –Marzo 2002. Artículo “Revitalización de antiguos cuarteles a partir de un nuevo espacio climático. Criterios para la reducción de la demanda energética”
- [9] Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER.
- [10] Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Escala de calificación energética.
- [11] Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). CALENER VYP v1.0: Manual de usuario.
- [12] Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). LIDER v1.0: Manual de usuario.
- [13] Marcos González. Departamento Domestico y Edificio (IDEA). La certificación energética de edificios.
- [14] Nave Overmayr Aussen. Requisitos energéticos.
- [15] Técnica Industrial nº 274, Marzo - Abril 2008
- [16] Xavier García Casals. Regulación y certificación energética de edificios: Asignatura pendiente en España. Escuela técnica superior de ingeniería. (2004).

Páginas web:

- [17] www.uva.es
- [18] www.epbd-ca.org
- [19] www.buildup.eu

ÍNDICE CD

- 1 Memoria
- 2 Resumen
- 3 Anejos
- 4 Otra documentación