



UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA:

**AUDITORÍA Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL
EDIFICIO AGUSTÍN DE BETANCOURT DE LA
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Departamento de Ingeniería Mecánica

Área de Máquinas y Motores Térmicos

AUTOR DEL PROYECTO: **DIEGO ALONSO PELLÓN**

DIRECTOR DEL PROYECTO: **CARLOS MONNÉ BAILO**

Zaragoza, Septiembre de 2010

Agradecimientos

Agradezco a mi director de proyecto, D.Carlos Monné Bailo, su confianza al brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi proyecto en este departamento, al ingeniero D.Luis Molina García por su ayuda en la realización del mismo, al Técnico de climatización D.Candido Gastón Garde por su colaboración en el desarrollo del proyecto, y a la Universidad de Zaragoza, sin los cuales no habría sido posible el desarrollo del proyecto.

Agradezco, a mi familia y a mis amigos, por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años.

A todos, gracias.

Diego Alonso Pellón
Zaragoza, Septiembre de 2010.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

AUDITORÍA Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO AGUSTÍN DE BETANCOURT DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio y análisis del comportamiento térmico del edificio Agustín de Betancourt, para poder realizar propuestas de mejora que disminuyan el consumo de energía, así como las emisiones de CO₂ para conseguir un edificio más eficiente térmicamente además de un ahorro económico.

A lo largo del proyecto se desarrollará la auditoria y certificación energética del edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza siguiendo una serie de estudios.

Para ello, se realizará un análisis termográfico de la envolvente del edificio con una cámara termográfica para analizar el comportamiento y la eficiencia energética de los cerramientos exteriores del edificio y así proponer mejoras. También se estudiará el comportamiento de los diferentes sistemas del edificio a estudio, realizando un estudio más detallado de la instalación de climatización para observar sus características y sus consumos.

Por otro lado, se hará uso de un programa oficial del Ministerio de la Vivienda y del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Dicho programa es el LIDER, que estudia la limitación de demanda energética (HE1 del Código Técnico de la Edificación) y nos permite analizar la demanda energética del edificio y ver las condiciones necesarias en el edificio para que cumpla con la normativa actual. En base a esto, se propondrán las oportunas modificaciones en el edificio para que cumpla la normativa.

Por último, se hará uso de otro programa oficial del Ministerio de la Vivienda y del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en este caso el CALENER-GT (Calificación Energética de Edificios en su versión de Grandes edificios Terciarios), para realizar la calificación energética del edificio y determinar su nivel de eficiencia energética. Mediante esta aplicación informática obtendremos una calificación energética del edificio mediante una etiqueta energética. Una vez simulado el edificio en este programa, se propondrán medidas a realizar para obtener un edificio con mayor eficiencia energética disminuyendo su consumo energético y sus emisiones contaminantes.

En cada una de las partes y estudios del proyecto, se analizarán detalladamente los resultados obtenidos y así se pasará a dar propuestas de mejora y de ahorro energético.

ÍNDICE

MEMORIA TÉCNICA

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Definición del proyecto.....	10
1.2. Objetivos del proyecto.....	10
1.3. Alcance del proyecto.....	11
2. TERMOGRAFÍA.....	12
2.1. Introducción.....	12
2.2. Objetivos.....	13
2.3. Estudio termográfico del edificio.....	13
2.4. Conclusiones.....	23
3. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN.....	25
3.1. Descripción de la instalación.....	25
3.2. Estudio del consumo de la instalación.....	31
3.3. Conclusiones.....	37
4. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	39
4.1. Introducción.....	39
4.2. Descripción del edificio.....	40
4.2.1. Localización y orientación.....	40
4.2.2. Geometría del edificio.....	40
4.2.3. Composición de los cerramientos y huecos exteriores.....	44
4.3. Resultados obtenidos con el programa LIDER.....	45
4.3.1. Resultados obtenidos.....	46
4.3.2. Análisis de los resultados y mejoras propuestas.....	49

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

4.4. Limitaciones del programa y dificultades encontradas.....	52
4.5. Conclusiones.....	53
5. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	55
5.1. Introducción.....	55
5.2. Implementación de los datos requeridos por el programa.....	57
5.2.1. Subsistemas primarios.....	57
5.2.2. Subsistemas secundarios.....	61
5.3. Resultados de la simulación.....	61
5.4. Propuestas de mejora.....	66
5.5. Limitaciones del programa.....	69
5.6. Problemas encontrados.....	69
5.7. Conclusiones.....	71
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	72
7. BIBLIOGRAFÍA.....	73

ANEXOS

ANEXO A.....	77
A.1. Informe completo realizado con la cámara termográfica.....	77
ANEXO B.....	117
B.1. División de espacios en el programa LIDER.....	117
B.2. Tabla de valores de VEEI límite según CTE-HE3.....	124

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

B.3. Definición de los cerramientos y huecos introducidos en LIDER.....	125
B.3.1. Cerramientos.....	125
B.3.2. Huecos.....	129
B.4. Ejemplo de información proporcionada por los resultados de LIDER.....	131
B.5. Desarrollo de las mejoras propuestas y sus resultados.....	132
ANEXO C.....	143
C.1. Implementación de componentes y geometría en CALENER-GT.....	143
C.1.1. Componentes.....	143
C.1.1.1. Datos generales.....	143
C.1.1.2. Polígonos.....	144
C.1.1.3. Elementos constructivos.....	144
C.1.1.4. Horarios.....	145
C.1.2. Geometría.....	147
C.2. Bombas presentes en la instalación.....	150
C.3. Circuitos secundarios de la instalación.....	152
C.4. Relación de fan coils presentes en la instalación.....	153
C.5. Relación de fan coils utilizados en la simulación.....	157
C.6. Climatizadores presentes en el edificio.....	160
C.7. Creación de espacios ficticios en el programa.....	162
C.8. Desarrollo de las propuestas de mejora del edificio.....	164

MEMORIA

TÉCNICA

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Definición del proyecto

Una auditoría energética es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía de un edificio; y permite obtener un balance de energía del edificio y proponer unas medidas de ahorro que reduzcan el consumo y las emisiones de CO₂ para avanzar hacia un desarrollo sostenible. Mediante la evaluación del comportamiento energético del edificio se obtiene una certificación energética para el edificio y una etiqueta tipo que haga llegar los resultados del estudio al usuario del edificio.

En el Real Decreto RD 47/2007, aprobado en Enero de 2007, se aprueba el Procedimiento Básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción que se llevará a cabo con el programa CALENER u otro programa que cumpla las especificaciones del anexo I del mismo Real Decreto. Este Real Decreto entra en vigor en Noviembre de ese mismo año, y marca que la Certificación Energética es obligatoria para todo edificio de nueva construcción, así como para todas las modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes que posean una superficie de más de 1000m² donde se renueven más del 25% del total de sus cerramientos.

Por tanto, la certificación energética de edificios es un requisito legal en los edificios de nueva construcción. Actualmente, casi el 30% del consumo de energía primaria es debida a los edificios y es por ello que se quiere incidir en la reducción de este consumo.

Con la etiqueta energética se persigue informar a los compradores sobre el grado de eficiencia del edificio, así como sobre sus emisiones de CO₂ y su consumo de energía estimados. También, se pretende incentivar a las empresas a la construcción de edificios más eficientes y animar a las empresas a la rehabilitación de edificios para que consuman menos energía. Finalmente, esta etiqueta, pretende que una promoción con una etiqueta más eficiente sume otro argumento positivo para su venta y el consumidor agregue la eficiencia energética a sus criterios de compra.

1.2.- Objetivos del proyecto

El objetivo principal del presente proyecto consiste en evaluar el comportamiento y características térmicas del edificio, así como los consumos energéticos y pérdidas energéticas del funcionamiento normal del mismo para obtener una calificación energética que nos proporcione una información acerca del nivel de eficiencia energética del edificio. Para ello nos servimos de diferentes herramientas como son los programas informáticos oficiales (LIDER, CALENER) o instrumentos como la cámara termográfica o el medidor de energía.

Una vez analizado el comportamiento del edificio, se procede a proponer las medidas y modificaciones necesarias para disminuir el consumo energético del edificio, a la vez que

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

consigamos un edificio más eficiente térmicamente y que emita la menor cantidad posible de dióxido de carbono en su funcionamiento.

1.3.- Alcance del proyecto

Para la realización del proyecto y la consecución de nuestros objetivos propuestos anteriormente, se han llevado a cabo los siguientes análisis:

- Estudio termográfico del edificio.
- Estudio de la instalación de climatización y de sus consumos energéticos.
- Evaluación del cumplimiento de la limitación de demanda energética del HE1 del CTE.
- Analizar el procedimiento de certificación energética del edificio.

Para llevar a cabo el primer análisis, se ha utilizado una cámara termográfica para observar el comportamiento térmico de la envolvente del edificio y obtener resultados de posibles fugas térmicas.

El segundo estudio a realizar, lo llevamos a cabo estudiando el funcionamiento de los componentes de la instalación y del consumo de las plantas enfriadoras mediante un analizador de energía.

Para los dos últimos análisis, se ha seguido una metodología de cálculo en la cual se modeliza el comportamiento teórico del edificio en lo que a consumo energético se refiere, realizando la implementación del edificio Agustín de Betancourt en los programas LIDER y CALENER-GT. Con el primer programa, se estudia la verificación del cumplimiento de las exigencias mínimas establecidas en el documento básico señalado; y con el segundo, se obtiene una etiqueta de la calificación energética del edificio.

Una vez realizados los diversos estudios y análisis, se ha procedido a la propuesta de mejoras y análisis de las mismas para obtener un edificio más eficiente.

2.- TERMOGRAFÍA

2.1.- Introducción

Se ha realizado un completo análisis termográfico para observar el comportamiento de los cerramientos exteriores del edificio (Ver Anexo A). Para ello se ha dispuesto de una cámara termográfica modelo PCE-TC 3 (en la imagen) con la cual no se precisa contacto con el edificio, ya que se basa en la medida de la radiación infrarroja para determinar temperaturas desde una distancia segura.

Dicha cámara posee las siguientes especificaciones técnicas:

- Rango de temperatura: de -10°C a 250°C
- Precisión: $\pm 2^\circ\text{C}$ o $\pm 2\%$
- Resolución de 160x120 píxeles
- Sensor: microbolómetro no refrigerado para trabajos libres de mantenimiento
- Distancia de medición: desde 30cm hasta infinito
- Resolución de temperatura: 0,15°C
- Puntero láser para situar de forma exacta el campo de medición
- Pantalla LCD de 3,5" con iluminación de fondo y cuatro escalas de colores regulables: arco iris, hierro, alto contraste y escala de grises.
- Temperatura operativa: -15°C a 45°C
- Tiempo operativo: 6horas
- Peso: 750gr.
- Tarjeta de memoria para un máximo de 1000 imágenes
- Transferencia de datos para mediciones continuas a través del puerto USB al PC
- Software para el análisis



Las principales aplicaciones de esta cámara en el estudio de edificios son las siguientes:

- Fallos de aislamiento, es decir, zonas sin aislamiento o con un aislamiento inadecuado
- Detección de focos de humedad, principalmente en el interior de los edificios
- Pérdida de calor o refrigeración
- Zonas con defectos de construcción
- Averías en sistemas de refrigeración o calefacción

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

2.2.- Objetivos

Primeramente, se han formulado una serie de objetivos, los cuales serán los puntos o zonas del edificio en los que basaremos nuestro análisis. Dichas zonas son las detalladas a continuación:

- Zonas acristaladas del edificio como pueden ser puertas o ventanas, y más especialmente, los marcos de las mismas, ya que serán éstos los que se encargarán de aislar el interior del edificio del ambiente externo cuando tanto las ventanas como las puertas se encuentren cerradas.
- Zonas acristaladas con lamas de protección exteriores dispuestas en posición vertical. En estas zonas, las partes acristaladas se comportarán como se ha comentado en el punto anterior; pero habrá que prestar atención al papel que jueguen las lamas, ya que dichas lamas tienen diferentes posiciones y orientaciones, lo que puede tener su influencia en lo referido al buen aislamiento del edificio.
- Las abundantes zonas de hormigón que dan a la parte exterior del edificio, es conveniente observar cómo se comportan dichos muros y si aíslan bien el interior del edificio.
- Los paneles sandwich que se encuentran en una parte importante del exterior del edificio así como las zonas de unión de dichos paneles, que al igual que las zonas de hormigón ocupan la mayor parte de los cerramientos exteriores del edificio.
- En la zona de naves, hay que analizar cómo se comportan las múltiples puertas de garaje que podemos encontrar, y observar su construcción así como su comportamiento en lo referente al aislamiento del edificio.

2.3.- Estudio termográfico del edificio

Una vez formulados los objetivos que se quieren analizar con la cámara termográfica, se ha pasado al análisis de las diferentes partes del edificio realizando un profundo análisis termográfico de todas las zonas y elaborando un extenso informe (ver anexo A.1) en el que se muestran gran cantidad de cerramientos exteriores y de huecos que forman la envolvente del edificio Agustín de Betancourt.

A continuación, se van a mostrar los detalles más relevantes del informe realizado, así como algunas imágenes que faciliten la comprensión del estudio realizado.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Por tanto, se ha pasado a analizar las distintas zonas del edificio y se han extraído una serie de conclusiones:

1. Se han analizado las zonas acristaladas del edificio que no poseen ninguna protección, y se ha observado que dichas zonas poseen elevadas temperaturas independientemente de la influencia solar en ellas; lo que nos quiere decir que es un foco de pérdidas de energía en forma de calor desde el interior del edificio. Por tanto, deberíamos poner solución a este problema, la cual pasaría por instalar algún tipo de protección exterior que disminuyera o anulará estas pérdidas.



Figura 2.1. Imagen de la puerta de entrada a la zona de aulas situada más hacia el Este en la cara Sur

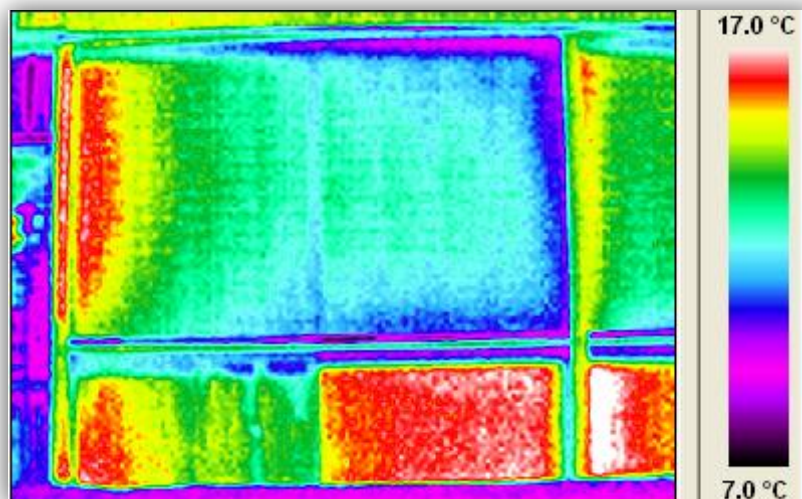


Figura 2.2. Termografía de la puerta de entrada a la zona de aulas situada más hacia el Este en la cara Sur

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Las imágenes de las figuras 2.1 y 2.2 se corresponden con la entrada a la zona de aulas por la cara Sur del edificio y por la puerta situada más hacia el Este. En la parte inferior de la termografía, observamos la puerta de cristal (izquierda) a unas temperaturas elevadas. Por tanto, podemos observar como por esta zona estaríamos perdiendo energía calorífica del interior.

Las imágenes 2.3 y 2.4 se corresponden con la zona de aulas vista desde el patio interior que se forma con la cafetería y la zona de despachos, es decir, es la cara Norte de la zona de aulas. En la parte inferior de la imagen 2.4, observamos una zona acristalada con una temperatura considerablemente mayor que el resto del edificio.



Figura 2.3. Fotografía de la cara Norte de la zona de aulas

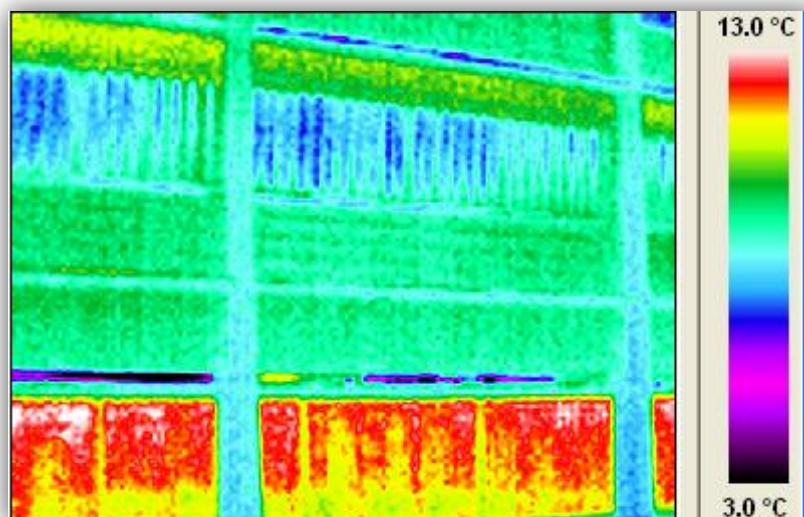


Figura 2.4. Termografía de la cara Norte de la zona de aulas

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En las primeras imágenes (2.1 y 2.2), la influencia de la radiación solar podía llevarnos a confusión; pero con las segundas (2.3 y 2.4), en las que no existe radiación solar, corroboramos nuestra afirmación de que las zonas acristaladas sin protección son zonas donde se producen pérdidas de calor del interior del edificio y se debe instalar algún tipo de protección exterior en ellas.

2. Analizando las zonas acristaladas, se ha observado como los marcos de las mismas son zonas que aíslan mal el edificio, ya que poseen elevadas temperaturas en todas las partes del edificio. Se ha apreciado como en zonas de sombra se encuentran incluso a mayores temperaturas que los propios cristales. La solución de este problema estaría, en un cambio en la material de fabricación de estos marcos; pero, principalmente, en mejorar las tolerancias de fabricación de los marcos para conseguir un mejor ajuste en el cierre y disminuir las pérdidas producidas por 'escape' de energía en forma de calor.



Figura 2.5. Fotografía de una ventana con lamas en la zona Oeste de despachos

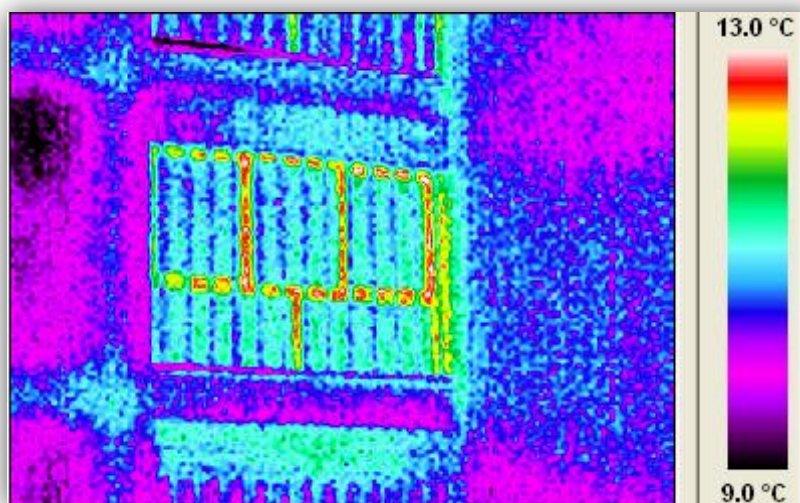


Figura 2.6. Termografía de una ventana con lamas en la zona Oeste de despachos

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En estas figuras observamos una ventana protegida con lamas, abiertas en este caso, situada en la cara Oeste del edificio. Como muestra la imagen 2.6, a pesar de tener lamas, se aprecia perfectamente la forma y situación de los marcos de la ventana, ya que se corresponde con el color rojo que se puede ver en la imagen y que indica la mayor temperatura en esta paleta de colores de alto contraste. Esta imagen nos indica los defectos de aislamiento de las zonas acristaladas.

La siguiente imagen muestra una ventana situada en la zona de escaleras que une las zonas de despachos y de naves. En la imagen podemos apreciar la gran diferencia de temperaturas entre los marcos de las ventanas y los propios cristales.



Figura 2.7. Fotografía de una ventana sin lamas en la zona Norte del edificio

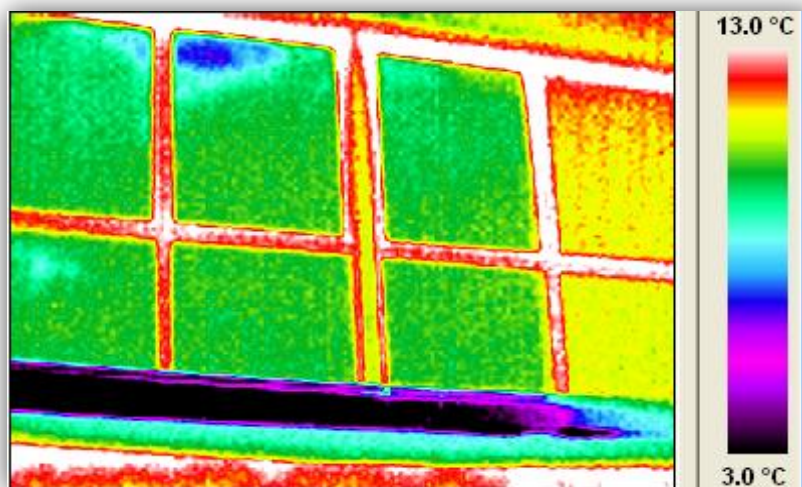


Figura 2.8. Termografía de una ventana sin lamas en la zona Norte del edificio

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

3. Tras el análisis de las zonas acristaladas con lamas de protección exterior, se ha determinado que uno de los aspectos más influyentes en el aislamiento térmico del edificio, son la apertura o cierre de las lamas que poseen la mayoría de las ventanas del edificio. Se ha sacado la conclusión de que si queremos disminuir la pérdida de energía en forma calorífica, debemos mantener la totalidad de las lamas del edificio en posición de 0°, es decir, las lamas completamente cerradas; puesto que, como se ha observado en el análisis, las ventanas con las lamas abiertas pierden gran cantidad de energía en forma de calor del interior del edificio. Además, la posición cerrada de las lamas minimiza el efecto negativo de pérdidas provenientes del mal aislamiento de los marcos comentado anteriormente.



Figura 2.9. Fotografía de la parte delantera del edificio en su zona de aulas

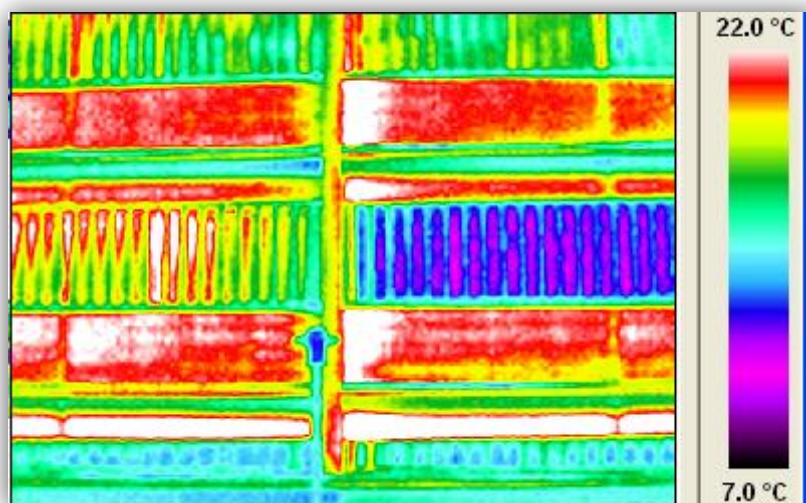


Figura 2.10. Termografía de la parte delantera del edificio en su zona de aulas

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En esta imagen, tomada de la parte delantera del edificio, se observa claramente la diferencia de temperaturas entre la baja temperatura de una ventana con las lamas cerradas (abajo a la derecha de color morado), la temperatura alta de una ventana con las lamas abiertas 90° (abajo a la izquierda de colores rojizos y blancos) y la temperatura intermedia de una con las lamas semiabiertas (arriba de color verdoso).

4. En lo referido a las zonas exteriores de hormigón, podemos concluir que son zonas que mantienen un buen aislamiento del edificio. Las diferencias de temperaturas de unas zonas de hormigón a otras se corresponden únicamente con la exposición a la radiación solar que hace adquirir mayor o menor temperatura al material. Por tanto son zonas que actúan perfectamente aislando el edificio de su ambiente exterior.
5. Los paneles sandwich ubicados en todas las zonas del edificio se comportan de manera similar a los muros de hormigón, aumentando su temperatura con la radiación solar y manteniendo estable su temperatura si no reciben tal radiación. Por el contrario, analizando estas zonas de paneles se ha apreciado que una parte crítica en estas zonas de paneles sandwich son las uniones entre distintos paneles. En dichas uniones, se ha observado que la temperatura es mayor que en los propios paneles lo cual nos indica un foco de pérdidas de calor. Para solucionar este problema, se debería perfeccionar la técnica de unión de dichos paneles y mejorar en la construcción de los mismos, para conseguir una zona de paneles con una temperatura homogénea.



Figura 2.11. Fotografía de la zona orientada al Norte de despachos

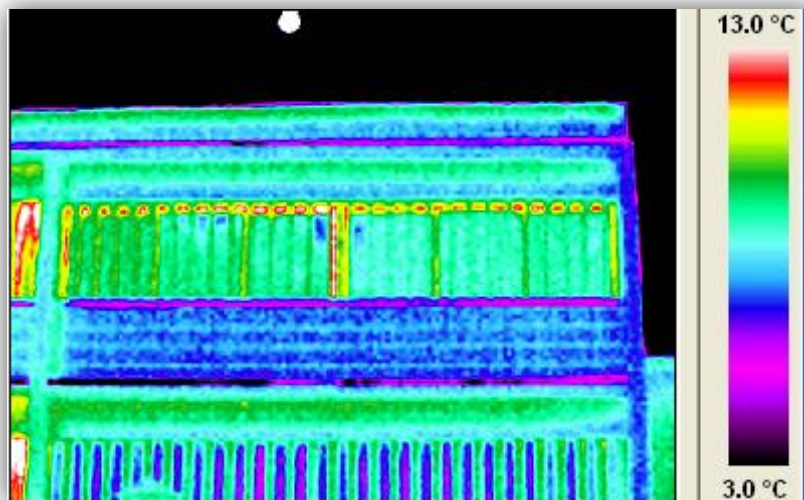


Figura 2.12. Termografía de la zona orientada al Norte de despachos

Las figuras 2.11 y 2.12 mostradas en la parte superior se corresponden con la parte trasera de la zona de despachos. Por otro lado, las imágenes 2.13 y 2.14 mostradas a continuación se corresponden con la parte delantera de la zona de despachos.



Figura 2.13. Fotografía de la parte delantera de la zona de despachos

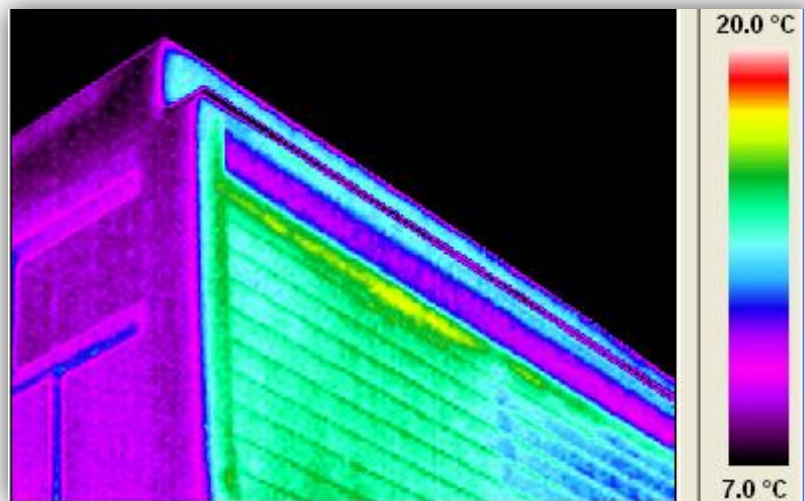


Figura 2.14. Termografía de la parte delantera de la zona de despachos

Tanto en la imagen 2.12 como en la 2.14 que se acaba de mostrar, observamos la diferencia de temperaturas entre los paneles sandwich y las uniones entre ellos.

- Finalmente, se han analizado las diversas puertas de garaje de grandes dimensiones situadas en la zona de naves, y se ha comprobado que también tienen grandes problemas de aislamiento. En cada una de las termografías tomadas en las que aparecen dichas puertas, se puede apreciar claramente su construcción mediante la unión de rectángulos del material en el que están fabricadas. En dichas uniones se crean puentes térmicos, por lo que no se garantiza la homogeneidad de la puerta, ya que se contempla una diferencia notable de temperaturas entre cada uno de los rectángulos mencionados y su correspondiente unión. Por esta razón, se debería estudiar en profundidad como se realiza dicha unión y mejorar consecuentemente el proceso de fabricación de las puertas; ya que, por las zonas de unión se escapan grandes cantidades de energía en forma de calor de interior del edificio.



Figura 2.15. Fotografía de una puerta de garaje en la zona Norte

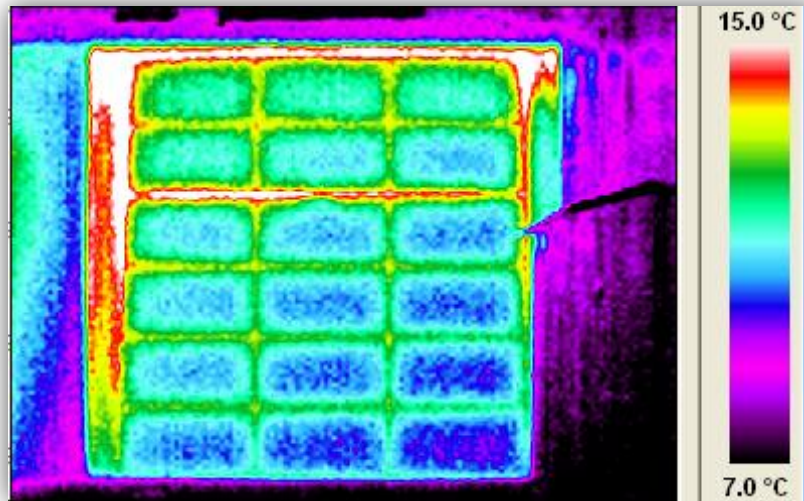


Figura 2.16. Termografía de una puerta de garaje en la zona Norte del edificio

En esta imagen se observa una puerta de garaje que da a la zona Norte del edificio y, por tanto, en el momento de toma de la fotografía se encontraba a la sombra. Observamos la diferencia de temperatura entre los rectángulos comentados y las uniones. Además, en esta imagen se observan las zonas donde se encuentran las bisagras que permiten el recogimiento de la puerta para su apertura.

En la siguiente imagen observamos una puerta de garaje situada en la cara Sur de la zona de naves, y por tanto, bajo la influencia solar en el momento de la foto. Se ve nítidamente la diferencia de temperaturas entre los rectángulos y las uniones entre ellos.



Figura 2.17. Foto de una puerta de garaje en la zona Sur

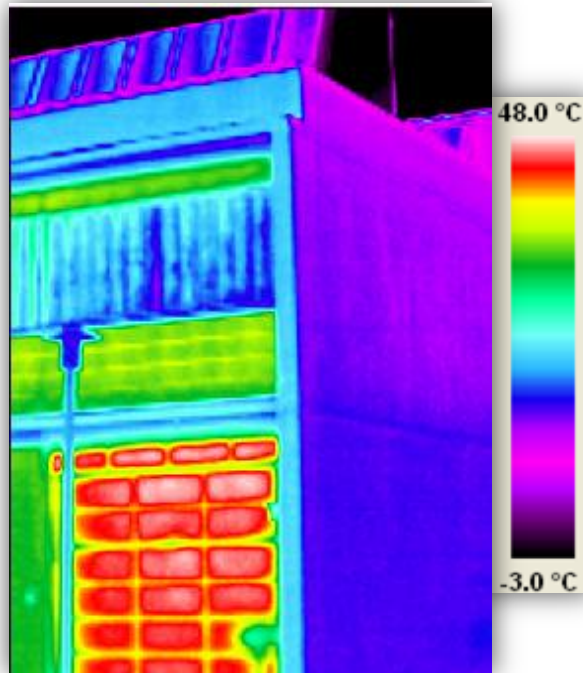


Figura 2.18. Termografía de una puerta de garaje de la zona Sur

2.4.- Conclusiones

- ✓ Uno de los aspectos más influyentes, si no es el más influyente, en el aislamiento térmico del edificio son la posición de apertura o cierre de las lamas que poseen la mayoría de las ventanas del edificio. Así, se puede concluir, que si queremos evitar en la medida de lo posible la pérdida energética en forma calorífica, debemos mantener la totalidad de las lamas en posición de cero grados, es decir, las lamas cerradas en su totalidad. Ya que como hemos visto en el análisis las ventanas con las lamas abiertas pierden gran cantidad de energía del interior. Además, los marcos de las ventanas son zonas que aíslan mal el edificio, ya que se encuentran a mayores temperaturas que los propios cristales; por tanto, con las lamas cerradas evitamos la pérdida de calor y disminuimos el efecto negativo de los marcos en cuanto al aislamiento se refiere.
- ✓ Otro aspecto importante, son las zonas acristaladas sin ningún tipo de protección. Éstas son zonas de pérdidas de calor, ya que como hemos analizado con anterioridad se encuentran a elevadas temperaturas tanto si reciben la influencia solar como si no. Es por ello, que debería instalarse algún tipo de protección en dichas zonas para disminuir estas pérdidas al máximo posible.
- ✓ Por otra parte, observamos que las paredes hechas de hormigón mantienen un buen aislamiento del edificio; a pesar de ello, notamos diferencias de temperaturas de unas

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

zonas a otras debido a la radiación solar, ya que es un material que aumenta su temperatura si recibe radiación solar y la mantiene estable si no recibe esa radiación.

- ✓ Otro material abundante y a tener en cuenta, son los paneles sandwich. Las uniones entre ellos, son zonas de mayor temperatura que los propios paneles, lo cual nos quiere decir que por esas pequeñas uniones estaríamos perdiendo energía en forma de calor, por lo que se debería mejorar en su construcción y unión. Los paneles sandwich, disminuyen o aumentan su temperatura en función de la radiación solar que reciben.
- ✓ Las puertas de grandes dimensiones situadas en la zona de naves, también tienen grandes problemas de aislamiento. En cada una de las termografías en las que aparecen, se puede apreciar claramente su construcción mediante la unión de rectángulos del material en el que están fabricadas. Esta unión, no garantiza la homogeneidad de la puerta, ya que se contempla una diferencia notable de temperaturas entre cada uno de los rectángulos mencionados y su correspondiente unión. Por ello, se debería estudiar en profundidad como se realiza dicha unión y mejorar consecuentemente el proceso de fabricación de las puertas; ya que, por las zonas de unión se escapan grandes cantidades de energía en forma de calor de interior del edificio.

3.- INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

3.1.- Descripción de la instalación

En este capítulo vamos a pasar a comentar todos los componentes que forman parte de la instalación, así como su funcionamiento global.

La central de producción de energía está compuesta por tres plantas enfriadoras preparadas para inversión de ciclo mediante un sistema hidráulico y está situada en el sótano del edificio. Estos equipos, compuestos por cuatro etapas de compresores, producirán agua caliente o fría en función de las necesidades térmicas del edificio, y distribuirán esta agua impulsada por una serie de bombas de primario por un sistema único de tuberías. Esta red de tuberías alimentará las unidades de tratamiento de aire (fan coils, aerotermos y climatizadores) en los espacios reservados para ello.



Figura 3.1. Fotografía de las tres plantas enfriadoras

Para la condensación de las plantas enfriadoras hay instalados seis intercambiadores de placas, de los cuales tres son de condensación y tres de evaporación estando montados en paralelo y conectados con un circuito de pozo donde existen tres pozos operativos. El agua que proviene del subsuelo, una vez utilizada se vuelve a reinyectar en el terreno en otro pozo a una distancia superior a cincuenta metros para no interferir en la temperatura del agua de captación.



Figura 3.2. Fotografía de los intercambiadores de placas

En el edificio no se prevén demandas simultáneas de frío y calor, y es por ello, por lo que se utiliza un sistema único de tuberías para transportar el agua fría o caliente a las unidades de fan-coils y aerotermos. Únicamente los cuatro climatizadores (aire primario, salón de actos, cafetería y biblioteca) tienen red hidráulica a cuatro tubos.

Los climatizadores son unidades de tratamiento de aire para una o varias salas. Las principales funciones que realizan los climatizadores son las siguientes:

- Retornar el aire de la sala para lo que utilizan ventiladores de retorno.
- Tratarlo. Es decir, filtrarlo, calentarlo o renovarlo con aire exterior.
- Distribuirlo a la sala a través de una red de conductos y un grupo de elementos de difusión de aire, apoyados en ventilador de impulsión.

Los climatizadores del salón de actos, biblioteca y cafetería están diseñados para permitir el free-cooling por control de temperatura en épocas intermedias, es decir, el enfriamiento gratuito para reducir el consumo energético.

El free-cooling consiste en aprovechar la temperatura del aire exterior para disminuir o evitar la producción de frío. Para explicar de mejor manera este fenómeno se comenta la figura 3.3.

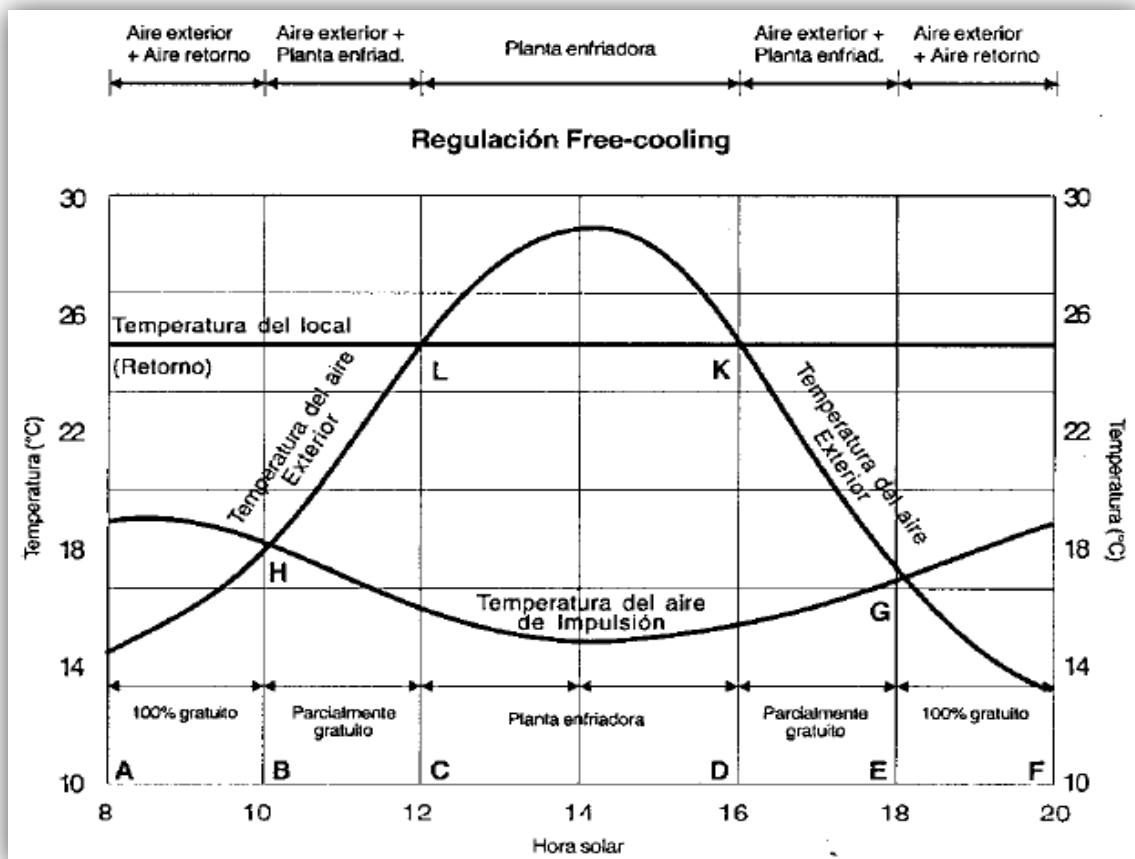


Figura 3.3. Ejemplo ilustrativo de un climatizador con free-cooling o enfriamiento gratuito

Observando la figura 3.3, vemos el comportamiento del climatizador con free-cooling. Suponemos un valor de temperatura del aire en el local a climatizar de 25°C y unas necesidades de temperatura de impulsión como muestra la figura. Vamos a analizar las tres posibles situaciones que se dan:

- En los tramos AB y EF, la temperatura de aire exterior es menor que la temperatura de impulsión, por tanto, el sistema regula la entrada de aire exterior de tal manera que junto con el aire de recirculación alcancen la temperatura de impulsión y no sea necesario la producción de frío, y por tanto, el enfriamiento sea gratuito.
- En los tramos BC y DE, la temperatura de aire exterior es mayor que la de impulsión pero menor que la de retorno. En esta situación el sistema de producción de frío debe operar parcialmente para bajar la temperatura del aire exterior que se introduce para llegar a la temperatura de impulsión solicitada.

El momento en el que la temperatura exterior iguala la temperatura del local, se marca el límite de enfriamiento gratuito.

- En el tramo CD, la temperatura exterior es mayor que la del local a climatizar. En esta situación, la instalación funciona de forma convencional.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En resumidas cuentas, el sistema de control compara mediante sondas de forma continua el contenido energético del aire exterior y del aire de retorno, decidiendo el aprovechamiento o no del aire exterior en función de las características de la demanda energética existente.

Así, en verano, se intentará cubrir la demanda de refrigeración con aire exterior manteniendo el mínimo para refrigeración y cuando no sea posible el sistema actuará de forma progresiva sobre la válvula de la batería de refrigeración. Cuando la demanda sea de calefacción, ésta siempre será cubierta actuando de forma progresiva sobre la válvula de calefacción.



Figura 3.4. Fotografía del climatizador de la biblioteca

Por otro lado, el climatizador de aire primario, perteneciente a la zona de aulas principalmente, posee recuperador estático debido al elevado caudal que posee. Esto quiere decir, que se aprovecha la capacidad térmica que posee el aire contaminado que va a eliminarse al exterior cuando se introduce aire nuevo. Dicho calor, se intercambia, mediante dos flujos cruzados que no llegan a mezclarse, con el aire exterior tanto en verano como invierno disminuyendo la carga de ventilación.

Este climatizador es el que aporta aire exterior a la zona de aulas, estando situado en el exterior en la segunda planta del edificio.

En casi todas las dependencias, la ventilación se realiza de forma natural mediante ventanas practicables, excepto en las aulas que la ventilación aunque se podría hacer de forma natural se realiza ventilación forzada mediante el climatizador con recuperador comentado.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Otras unidades de tratamiento de aire son los fan-coils, que se suelen situar directamente en el local a climatizar y son ventajosos en lo que a economizar espacios se refiere. La mayoría de los fan-coils instalados en el edificio están situados en falso techo, exceptuando los de zonas comunes que se encuentran en el suelo.



Figura 3.5. Fotografía de un fan coil del edificio

La composición básica de estos elementos es la siguiente: poseen un filtro y una rejilla en la zona de aspiración, un ventilador, una batería para intercambiar calor a dos tubos y unos difusores de impulsión.

El tercer tipo de unidad de tratamiento de aire son los diez aerotermos situados en la zona de naves del edificio que solo proporcionan calefacción a la zona de influencia.

En lo que se refiere a los equipos de bombeo instalados en el conjunto de la instalación de climatización, se encuentran los siguientes grupos:

- Tres bombas de pozo que se encargan de llevar el agua desde el propio pozo al circuito primario de intercambiadores.
- Ocho bombas primarias de caudal constante que se dividen en dos grupos. Tenemos cuatro bombas primarias que se encargan de hacer circular el agua caliente entre el circuito primario y el circuito secundario; y cuatro bombas primarias que se encargan de llevar el agua fría entre ambos circuitos. De ambos grupos de cuatro bombas, una de ellas no se encuentran en funcionamiento ya que son las bombas de reserva.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- Seis bombas gemelas secundarias de caudal constante que se encargan de distribuir el fluido para climatizar a las unidades de tratamiento de aire.



Figura 3.6. Fotografía de las bombas gemelas de secundario

La totalidad de estas bombas se encuentran en la sala de máquinas del sótano del edificio.

Una vez definidos todos los componentes que forman la instalación de climatización del edificio Agustín de Betancourt, pasamos a comentar el funcionamiento de la propia instalación:

Las tres plantas enfriadoras funcionan como una bomba de calor a dos tubos, el intercambio de calor con el agua proveniente del subsuelo se realiza en el intercambiador de placas del condensador o en el del evaporador según las necesidades de climatización. Así, cuando la demanda energética es de calefacción el intercambio con el agua de pozo se produce en el evaporador, calentando el agua de éste y se lleva el agua del condensador de la bomba de calor al circuito secundario; mientras que, si la demanda es de refrigeración, el intercambio de calor con el agua del subsuelo se produce en el intercambiador de placas del condensador y el agua que se lleva al circuito secundario es el del evaporador.

Cuando las máquinas están cubriendo necesidades de calefacción se mide la temperatura en el condensador y cuando esta sobrepasa los 45°C las plantas enfriadoras dejan de funcionar. Así, conforme nos acercamos a los 45°C se van parando compresores de las bombas de calor hasta llegar al paro completo cuando llega a 45°C. Por el contrario, cuando se cubren necesidades de refrigeración, se mide la temperatura del evaporador y cuando esta baja de 7°C se paran las

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

máquinas. Al igual, que en la demanda de calefacción, en refrigeración conforme bajamos la temperatura del evaporador acercándonos a los 7°C se van deteniendo compresores hasta parar las máquinas cuando se llegan a esos grados.

El circuito primario está formado por dos circuitos, de los cuales solo está en funcionamiento uno de ellos dependiendo de si la demanda energética es de calefacción o de refrigeración. Las bombas de primario, como se ha comentado anteriormente, están divididas en dos grupos; las bombas de primario frías, que son las que funcionan en el subcircuito primario de agua fría y son las encargadas de llevar el agua para refrigeración al circuito secundario, y las bombas de primario calientes, que se encargan del subcircuito primario de calefacción.

Finalmente, las bombas de secundario se encargan de llevar el agua caliente o fría, según necesidades energéticas del edificio, del circuito secundario a las distintas unidades de tratamiento de aire situadas en todo el edificio.

3.2.- Estudio del consumo de la instalación

Para observar el comportamiento energético de la instalación, se ha realizado un estudio del consumo energético de las tres plantas enfriadoras presentes en la instalación en función de la temperatura exterior. Para realizar este análisis han sido necesarios varios instrumentos de medición.

Primeramente, se ha utilizado un analizador de potencia y medidos de energía de tres fases PCE-360 de la marca pce-iberica, que es interesante en mediciones de larga duración. Los valores medidos por el aparato son transmitidos posteriormente al ordenador para su posterior análisis y valoración mediante un software proporcionado.



Figura 3.7. Imagen del medidor de energía PCE-360

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Entre otras características el instrumento de medición PCE-360 posee las siguientes:

- Memoria no volátil de 512kB
- Pantalla LCD con iluminación de fondo
- Alimentación mediante 8 baterías de 1,5 V tipo AA
- Dimensiones de 235x117x54 mm
- Peso de 730 kg

Con la medición en este aparato, obteníamos los valores de los siguientes parámetros:

- Tensión
- Corriente
- Potencia efectiva
- Potencia aparente
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- Ángulo de fase
- Frecuencia

Otro aparato utilizado en este estudio fue EL-USB-2-LCD de la marca LASCAR, que se utiliza para registrar datos de temperatura y humedad relativa en los intervalos de tiempo marcados por el usuario.



Figura 3.8. Imagen de EL-USB-2-LCD

Para realizar el estudio, se conectó el medidor de energía en la conexión trifásica de las tres plantas enfriadoras que iban al interruptor general de la planta situado en el cuarto de cuadros eléctricos en el sótano del edificio. Para dicha conexión se utilizaron las cuatro pinzas de corriente proporcionadas con el aparato y las cuatro pinzas tipo 'cocodrilos'. Allí se dejó durante un periodo de siete días entre el día 9 y el día 16 de Marzo de 2010, para que realizase las medidas de los distintos parámetros en intervalos de dos minutos.

Por otro lado, el USB encargado de medir la temperatura exterior se situó en la parte exterior de una ventana del edificio. Dicho instrumento, al igual que el medidor de energía, se dejó durante los mismos días para obtener el valor de la temperatura exterior cada cinco minutos.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

El problema fue que el valor de dicha temperatura se vio levemente alterado obteniendo valores ligeramente superiores a los reales debido al calentamiento de la placa metálica sobre la que estaba apoyado el instrumento.

Una vez vistos los instrumentos utilizados en el estudio, pasamos a comentar los resultados obtenidos en el mismo:

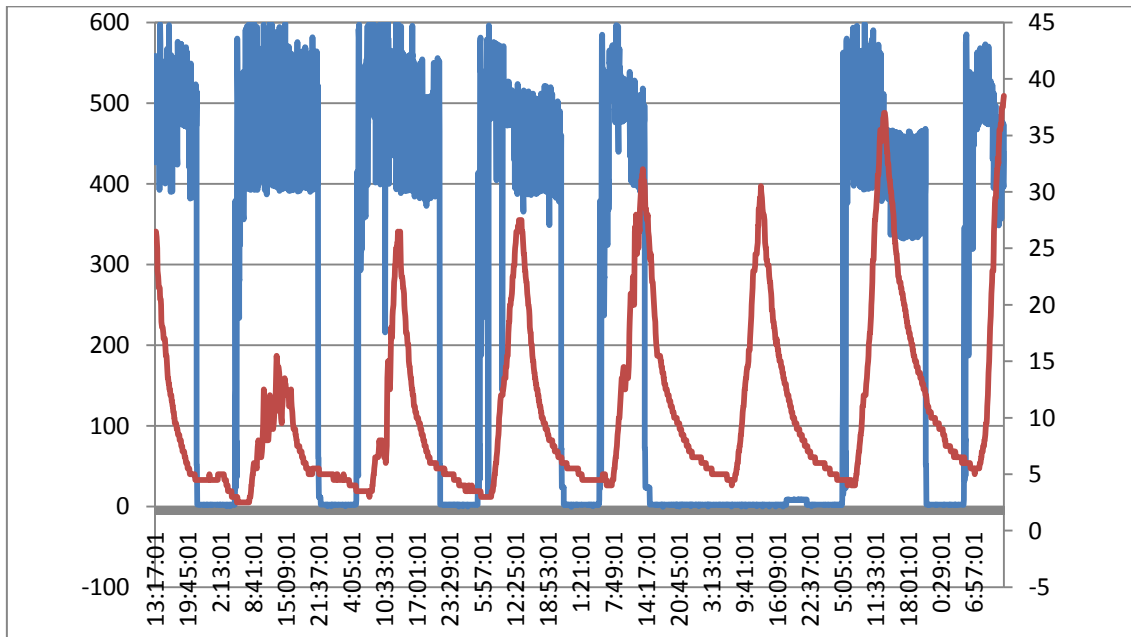


Figura 3.9. Gráfico de resultados obtenidos durante la semana

En el gráfico de la figura 3.9, observamos en color azul y en el eje vertical izquierdo los valores en kW de la potencia consumida por las tres plantas enfriadoras a lo largo de los días de medición. Por otro lado, en color rojo y en el eje derecho observamos los valores en °C de la temperatura exterior durante los días de medición.

Sabemos que el horario de funcionamiento de la instalación de climatización se corresponde con los siguientes horarios:

- Días laborables de Lunes a Viernes desde las 5:30 hasta las 21:30
- Sábados desde las 5:30 hasta las 14:00
- Festivos permanece inactiva

Sabiendo los horarios de funcionamiento de la instalación, observamos de manera global cómo evoluciona la gráfica a lo largo de los días de medición:

- El primer día, martes 9 de marzo, los equipos de medición se instalaron a partir de las 13:15 aproximadamente.
- En la gráfica, observamos los cuatro primeros picos, que se corresponden con los cuatro primeros días, en los que la potencia consumida es nula cuando la instalación está parada y tiene un comportamiento similar durante su funcionamiento.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- El quinto día, se corresponde con un sábado, y es por eso que la anchura del pico de consumo es menor ya que la instalación permanece inactiva durante las horas de la tarde.
- A continuación, hay un tramo largo sin consumo debido al sábado por la tarde y al domingo 14 de marzo en los que la instalación está parada.
- El penúltimo pico se corresponde con el lunes 15 de Marzo, y podemos apreciar como la zona de funcionamiento tiene dos partes, siendo la segunda de menor valor que la primera. Esto se debe a que la temperatura exterior, ha ido aumentando a lo largo de la semana, y en este día es bastante elevada por lo que las necesidades de calefacción serán menores y por tanto el consumo disminuirá.
- El último pico que se ve, corresponde al martes 16 en los que la instalación vuelve a tener un comportamiento similar a los primeros días de medición.
- Los instrumentos de medición se paran el martes 16 de Marzo alrededor de las 13:00.

A continuación, se realiza un análisis más profundo de los detalles más importantes de esta medición:

1.- Funcionamiento normal de la instalación:

En este punto, se va a observar más detalladamente cómo se comporta la instalación en su funcionamiento normal. Para ello se ha realizado la gráfica de consumo de las plantas enfriadoras para uno de los días en los que se realizó la medición, en este caso para el día 10 de Marzo.

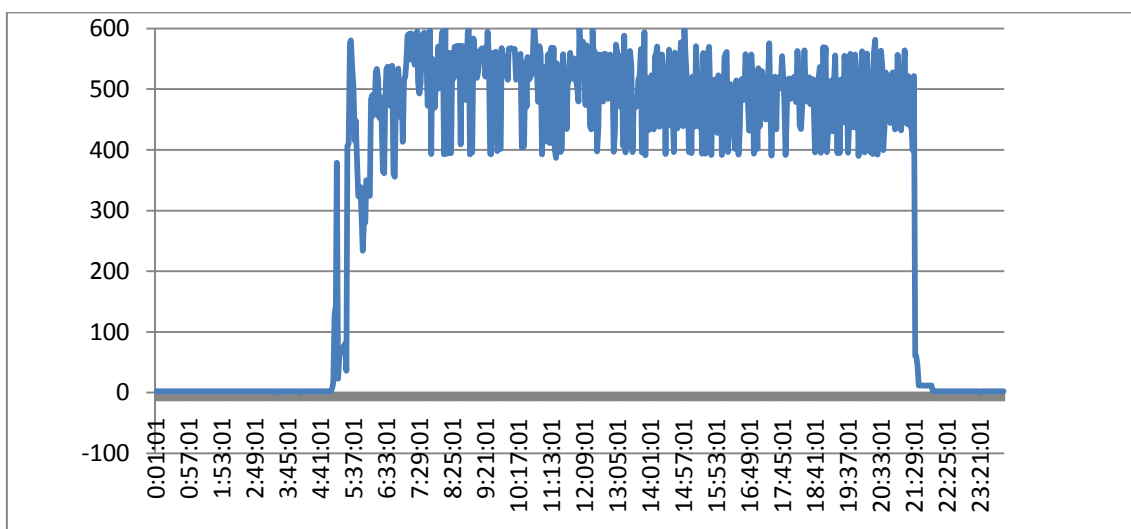


Figura 3.10. Potencia consumida en el día 10 de Marzo

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Viendo la imagen de la figura 3.10, podemos apreciar claramente el momento en el que la instalación se pone en marcha y el momento de parada. Para el periodo en el que la instalación está funcionando se observa multitud de picos y variaciones de potencia consumida entre los 400 kW y los 600 kW.

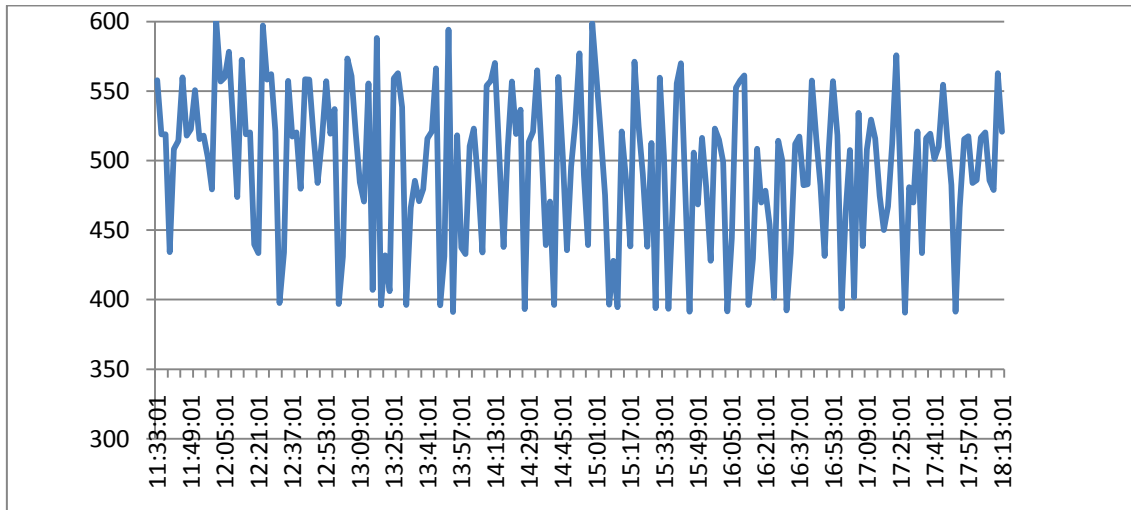


Figura 3.11. Potencia consumida en las horas centrales del día 10 de Marzo

En la figura 3.11, observamos con mayor claridad los picos comentados en la imagen anterior. Como las bombas del circuito son de caudal constante, continuamente se están produciendo escalones en el consumo de las plantas enfriadoras ya que para regular el caudal se está continuamente activando y desactivando compresores en las plantas.

Los picos que se observan en la imagen, se corresponden con escalones de potencia de las plantas enfriadoras ya que cada una de ellas posee cuatro compresores. La potencia nominal absorbida de cada una de las plantas enfriadoras es de 152 kW, por tanto, cada compresor representará un escalón de 38 kW; lo cual se refleja en la gráfica mostrada.

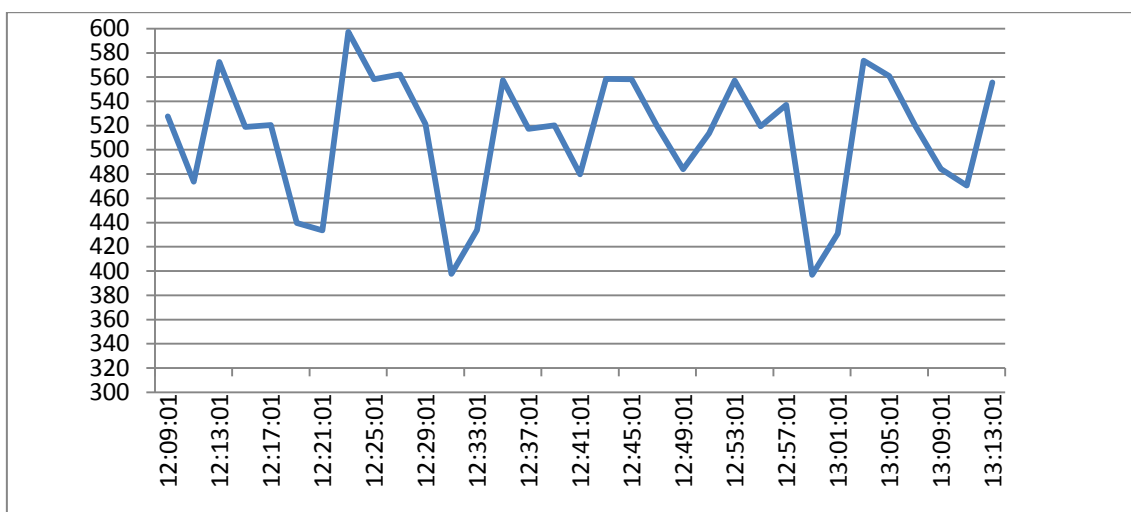


Figura 3.12. Potencia consumida en un intervalo de tiempo corto para observar escalones

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En esta figura 3.12, se observan los escalones de aproximadamente 38 kW de las entradas y salidas de funcionamiento de los compresores de las máquinas. Si observamos los distintos escalones que se ven, podemos apreciar como son de unos valores en torno a 38 kW o múltiplos del mismo.

Una buena medida a tomar para este comportamiento, sería intentar ajustar en mayor medida estos picos para que la franja de escalonamiento fuera más estrecha, es decir, en un intervalo de variación menor, y poder así obtener un ahorro.

2.- Momento diario de arranque de la instalación:

El instante en el que se arranca la instalación es uno de los momentos más críticos e importantes de cualquier maquinaria o instalación. En la gráfica de la figura 3.10, no se aprecian los cambios de consumo energético tan bruscos que existen en la instalación durante el arranque, y es por ello, por lo que se han realizado gráficas con menor intervalo de tiempo para apreciar estos detalles.

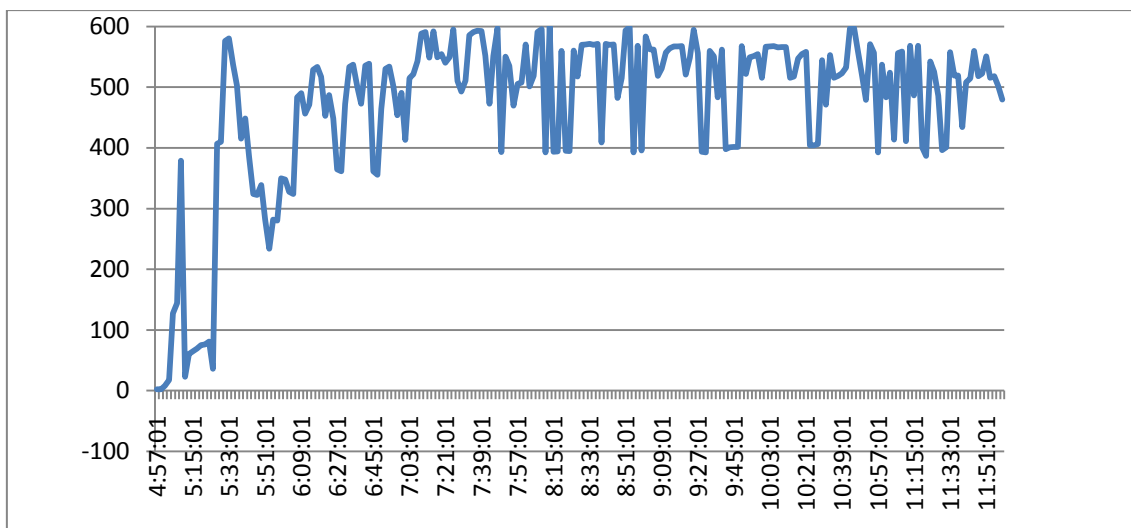


Figura 3.13. Gráfica del periodo de arranque de la instalación el 10 de Marzo

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

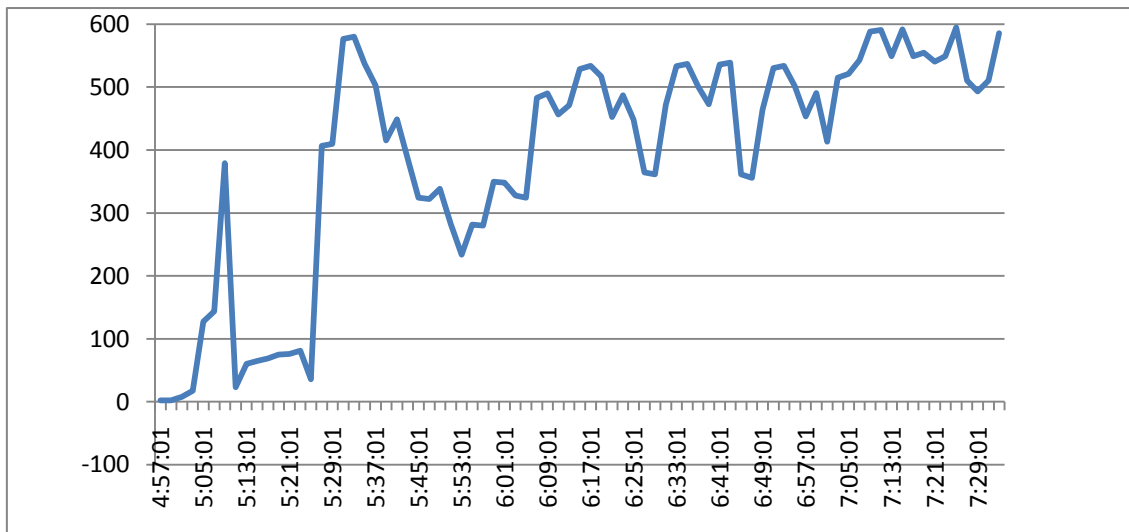


Figura 3.14. Gráfica del arranque de la instalación en 10 de Marzo

En la figura 3.14, observamos los enormes picos de potencia que se producen en el arranque de la instalación. Pasamos en aproximadamente 30 minutos, de 0 a 400 kW para volver prácticamente a 0 kW y subir de nuevo a casi 600 kW.

La causa de este comportamiento son los problemas de regulación del circuito. Al poner en funcionamiento las tres plantas enfriadoras, éstas tardan muy poco tiempo en cargar el circuito, entonces si las bombas de secundario todavía no han arrancado para llevar el caudal a los subsistemas secundarios (climatizadores, fan coils, aerotermos) las bombas de calor dejan de funcionar y se paran, lo que origina estos enormes escalones. Posteriormente, cuando las bombas de secundario empiezan a funcionar, las bombas de calor vuelven a activarse produciendo otro gran pico de potencia. Por tanto, el problema se encuentra en la descompensación que se produce en la activación del circuito.

3.3.- Conclusiones

Del análisis de la instalación de climatización y del estudio de consumo se han extraído las siguientes conclusiones:

- ✓ La regulación de la instalación para activar o desactivar la calefacción o refrigeración se hace de la siguiente manera:
 - En verano, se produce el intercambio con el agua de pozo en el condensador, consiguiendo disminuir la temperatura de éste, es decir, enfriamos la temperatura del condensador. Así, mediante una sonda se comprueba la temperatura en el evaporador. Conforme esta temperatura se acerca a los 7°C se van desactivando compresores, llegando a parar la refrigeración de la instalación cuando la temperatura baja de 7°C.
 - En invierno, se produce el intercambio en el evaporador, aumentando la temperatura de éste, es decir, aumentamos la temperatura del evaporador.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Medimos la temperatura en el condensador y conforme nos acercamos a los 45°C se van desactivando compresores de las bombas de calor, parando la calefacción cuando llegamos a los 45°C.

- La medición de la temperatura de condensador o evaporador se realiza mediante una consigna introducida por los operarios de mantenimiento, que introducen que sonda quieren que efectue la medida.

- ✓ Durante el funcionamiento de la instalación se produce una serie de picos de consumo dentro de un intervalo de valores de las tres bombas de calor presentes en la instalación. Esto se debe a la entrada en funcionamiento o parada de algunos de los cuatro compresores que poseen cada una de estas máquinas conforme nos acercamos o alejamos de la temperatura de consigna según sea verano o invierno. Una solución sería ajustar los consumos para que el intervalo de variación disminuyera y así poder conseguir un ahorro energético.

- ✓ El momento del arranque de las tres máquinas es un momento crítico, ya que se producen enormes picos y variaciones de consumo de potencia. Esto se debe a la descompensación existente entre la puesta en marcha de las tres bombas de calor y las bombas de secundario.
Al poner en marcha las bombas de calor se produce un pico de consumo, pero éstas tardan muy poco tiempo en cargar el circuito y si las bombas de secundario no se han puesto en marcha para llevar el caudal de agua hacia las unidades de tratamiento de aire (climatizadores, fan coils, aerotermos) las bombas de calor se paran. Posteriormente, cuando las bombas de secundario se ponen en marcha, las bombas de calor vuelven a activarse produciendo otro pico de potencia.
Este problema podría resolverse realizando una regulación en la instalación, de tal forma que no existiera esta descompensación entre la activación de las bombas de calor y las bombas de secundario.

- ✓ En lo que respecta al agua de pozo, no se encuentra excesivamente controlada, ya que se controla mediante una válvula todo/nada. Así, cuando el evaporador necesita calentar el agua o el condensador enfriarla, se mete todo el caudal de agua de pozo; sin embargo, otros edificios se basan en la temperatura que posee el evaporador o condensador para introducir la cantidad de agua necesaria para obtener la temperatura deseada.

4.- LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

4.1.- Introducción

Se ha utilizado el programa informático LIDER (Limitación de la Demanda Energética), ofrecido por el Ministerio de la Vivienda, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético), para la verificación del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE-HE1), que forma parte del procedimiento para la certificación energética de edificios.



Primeramente, se han comentado los fundamentos de la aplicación informática como sus características y metodología de cálculo en términos generales, para posteriormente, mostrar la aplicación en nuestro edificio a análisis, es decir, el edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza.

El LIDER es un programa que facilita la comprobación de las características de la envolvente de los edificios para ver si dispone de unas características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen estacional, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que perjudiquen sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

En definitiva, la simulación en LIDER, verifica los valores mínimos de las transmitancias, comprueba las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de la envolvente térmica del edificio, comprueba la humedad relativa media mensual en la superficie interior que sea inferior al 80% para controlar las condensaciones superficiales y comprueba el cumplimiento de las limitaciones de permeabilidad al aire de las carpinterías de los huecos.

El objetivo de este estudio, es el de definir las soluciones constructivas, es decir, los huecos, muros, suelos y cubiertas, con la finalidad de que cada uno de los cerramientos cumpla con los valores mínimos establecidos por la normativa. Estos cerramientos serán nuestro punto de partida para su posterior simulación en LIDER. Así, primeramente, se definirá la envolvente del edificio para su cumplimiento térmico mediante el programa LIDER.

El programa LIDER crea un edificio de referencia, que básicamente es el mismo que el estudiado, con la diferencia de no tener más de un 60% de superficie acristalada en cada orientación y en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

internas son los valores límites establecidos por los coeficientes global de transferencia de calor y factor solar.

Posteriormente, se calcula la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio objeto a estudio, mediante la aplicación informática, y se compara con las del edificio de referencia; si ambas demandas del edificio objeto son menores, se cumple la legislación. La excepción a esta norma, se da en el caso de que para el edificio objeto una de las dos demandas sea inferior al 10% de la otra, entonces se ignora el cumplimiento de la restricción asociada a la demanda más baja.

4.2.- Descripción del edificio

A continuación, se describe la aplicación del programa LIDER al edificio objeto de nuestro estudio, el edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza; para ello, el primer trabajo a realizar es la descripción de nuestro edificio objeto.

4.2.1.- Localización y orientación

Como se ha comentado, el edificio a estudio se encuentra situado en Zaragoza capital, por lo que mediante la tabla D.1 del apéndice D del documento básico HE 1 del Código Técnico de la Edificación, se obtiene una zona climática D3 para la ubicación del edificio. Además, sabemos que la orientación del edificio es de 0° con respecto al sur, lo cual, nos indica que cada una de las cuatro orientaciones que poseen los cerramientos exteriores del edificio, son justamente los cuatro puntos cardinales.

4.2.2.- Geometría del edificio

Se trata de un edificio con una geometría compleja, debido a su gran extensión así como su complicado contorno exterior.

Las plantas se tenían en unos planos en formato DXF a observar con el programa informático AutoCAD. Para cambiar el formato de los planos de DXF a LIDER, nos hemos ayudado de un programa que es una herramienta para transformar polilíneas y líneas de AutoCAD en líneas auxiliares de LIDER. Una vez definido perfectamente el contorno de la planta a introducir, se introducen unos valores de número de plantas, escala, altura de la planta y punto de origen, y así, conseguimos introducir la geometría de la planta en el LIDER para la posterior ubicación de los cerramientos exteriores y su simulación.

En un primer momento se pretendía introducir el contorno exterior del edificio y realizar la simulación como un único espacio. Pero en este punto, se ha encontrado un importante problema, ya que la planta del edificio poseía más de treinta vértices en su contorno, lo que

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

imposibilitaba su posterior exportación a el programa informático CALENER para la posterior certificación del edificio. En este momento se nos planteaban dos soluciones: dividir el edificio en diferentes espacios de tal forma que cada uno de ellos no llegaran al límite de vértices impuesto o intentar realizar la simulación como un único espacio modificando el contorno del edificio para conseguir disminuir el número de vértices y que no llegará al límite establecido. Finalmente, se desechó esta segunda opción porque, a pesar de ser la opción más rápida y menos costosa, el número de vértices a eliminar era bastante elevado y la configuración de la planta del edificio quedaba demasiado cambiada y no se asemejaba al edificio a estudio. Por tanto, se ha optado por dividir el edificio en diferentes espacios para su análisis mediante LIDER y evitar así este problema, ya que la restricción del número de vértices máximo se realiza para cada espacio en concreto. Además, esta división en espacios nos supondrá una ventaja, como veremos más adelante, a la hora de asignar los subsistemas de climatización a los diferentes espacios.

Para la división en diferentes espacios, nos hemos centrado en los diferentes sistemas de climatización utilizados en el edificio, ya que para todo el edificio hay gran variedad de sistemas: cuatro climatizadores distintos (salón de actos, cafetería, biblioteca y aire primario), catorce tipos de fan coils que engloban un total de doscientos cuarenta y siete unidades, y diez aerotermos situados en la zona de naves. Estos sistemas serán definidos con más detalle posteriormente cuando se apliquen al programa CALENER. Así, cuando se proceda a asignar en el programa informático CALENER los distintos subsistemas secundarios de climatización a sus espacios correspondientes, esta distribución espacial nos facilitará el trabajo. Además como no tenemos en cuenta las particiones interiores, hemos considerado una única planta en aquellos espacios que poseían la misma geometría en planta en las diferentes alturas además de poseer el mismo subsistema de climatización.

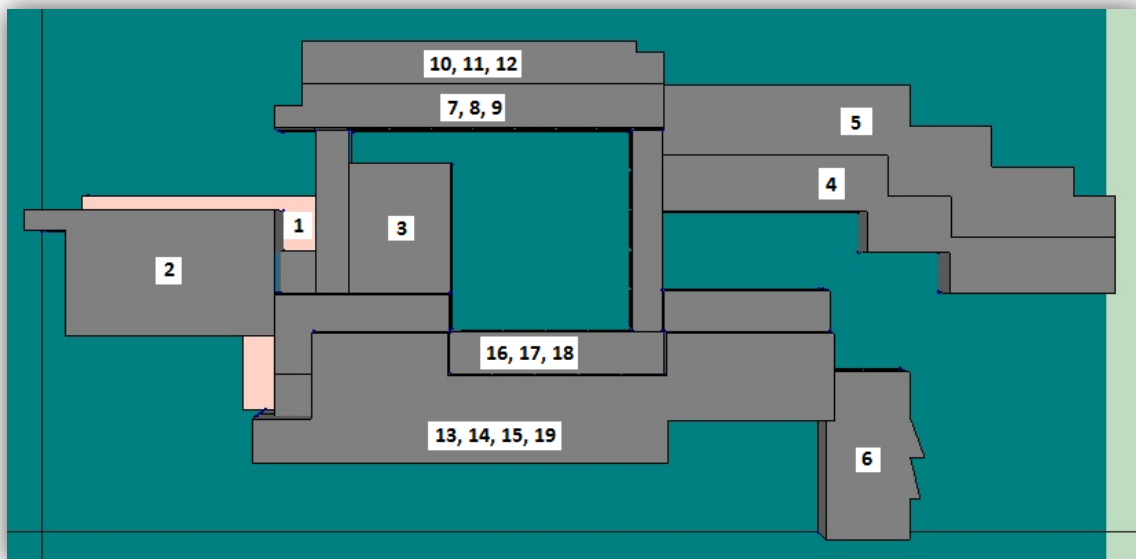


Figura 4.1. Representación en planta de la distribución de los espacios en LIDER.

Con todo esto, hemos dividido el edificio en diecinueve espacios, siendo cada uno de ellos de una única planta, pero variando la altura del espacio en función del número de plantas del

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

edificio original que abarque dicho espacio simulado. También en la división de espacios, se ha tenido en cuenta otra cuestión importante y relevante en el proceso de certificación del edificio, es su división en zonas Norte y zonas Sur, factor importante para mejorar la simulación en el programa CALENER, ya que la influencia solar en la cara Norte del edificio no será la misma que en la cara Sur, y esto tendrá su influencia en los consumos energéticos de climatización e iluminación como veremos a posteriori en la aplicación del CALENER.

Dicho esto, la división en espacios del edificio se puede apreciar en la figura 4.1 y en el anexo B.1 se puede contemplar una breve descripción de cada uno de los espacios.

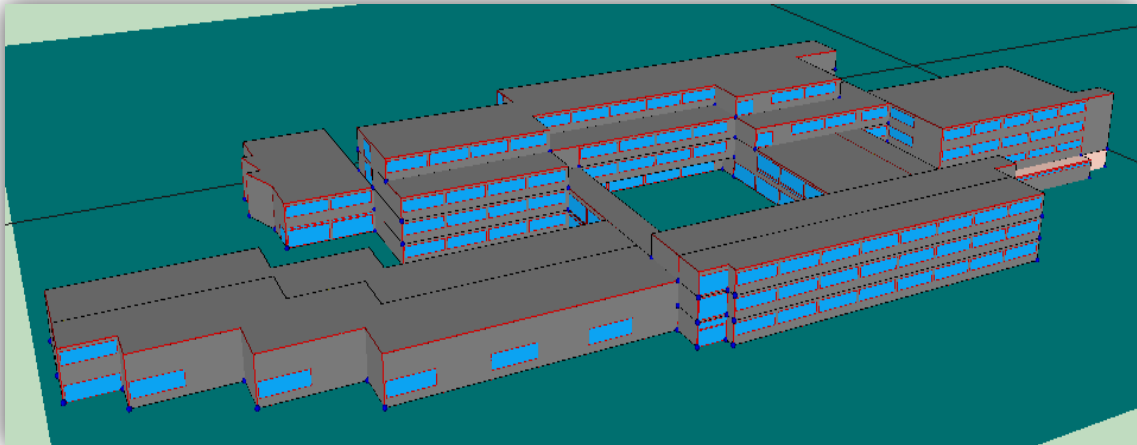


Figura 4.2. Imagen desde el Norte del edificio completo simulado en LIDER

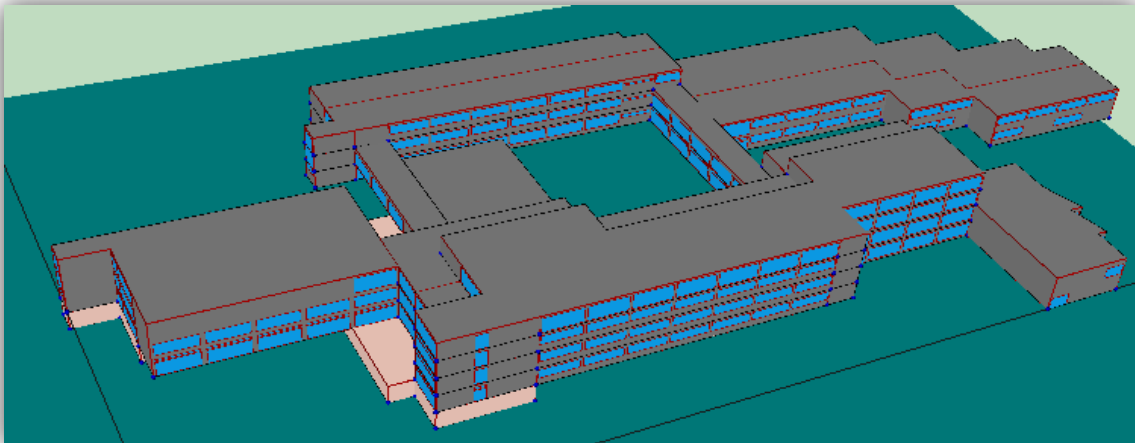


Figura 4.3. Imagen desde el Sur del edificio completo simulado en LIDER

Tras la definición espacial del edificio, se han definido una serie de características de cada uno de los espacios. Para ello se han necesitado saber las siguientes características:

- *Tipo de espacio.* Para zonificar el edificio debemos distinguir entre espacios habitables que pueden ser acondicionados o no acondicionados, dependiendo de si existe o no sistema de climatización, y espacios no habitables. Por tanto, para nuestro edificio universitario todos los espacios están acondicionados excepto el sótano que se

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

considera no acondicionado. La división del edificio en diferentes zonas se debe a que el programa necesita definir una serie de parámetros característicos de cada zona que definen las cargas térmicas de los espacios y su comportamiento frente a la demanda.

- *Tipo de uso.* Este dato viene definido en función del tiempo de ocupación del edificio y de la actividad a desarrollar. Para nuestro edificio se ha considerado un uso de intensidad alta durante 16h para todos los espacios exceptuando el sótano para el que se ha considerado una intensidad baja durante 8h.
- *Número de pilares.* En esta característica se introducen el número de pilares que contiene cada uno de los espacios en los cerramientos en contacto con el exterior.
- *Clase de higrometría.* Al considerar que todo el edificio está formado por aulas y no se prevé alta producción de humedad, nos encontramos ante una clase 3 de higrometría.
- *Número de renovaciones hora requerido.* Para cada uno de los espacios en los que se ha dividido el edificio se ha calculado el valor de renovaciones necesario. Para ello, sabemos la calidad del aire que se debe alcanzar como mínimo ya que nos la proporciona el RITE (Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios), en nuestro caso IDA 2 (aire de buena calidad) como observamos en la tabla 4.4. También sabemos en unos valores aproximados la cantidad de personas que ocupan cada uno de los espacios, así como la superficie de cada uno de estos. Con todo ello, mediante el método de cálculo indirecto de caudal de aire exterior por persona, y sabiendo que tenemos un valor de $45\text{m}^3/\text{h}$ por persona, obtenemos unos valores de renovaciones hora para cada uno de los espacios. Los valores obtenidos para los diferentes espacios son los siguientes:
 - Para el sótano: 0,2
 - Para los dos espacios de naves: 0,4
 - Para los tres espacios de despachos al Sur: 0,5
 - Para los tres espacios de despachos al Norte: 0,6
 - Para el salón de actos: 0,7
 - Para las zonas de aulas: 0,8
 - Para la biblioteca y sala de estudio: 0,9
 - Para la cafetería: 1

IDA	Calidad	Aplicaciones
1	óptima	hospitales, laboratorios, guarderías etc.
2	buena	oficinas, residencias, aulas etc.
3	media	edif. comerciales, cines, restaurantes, gimnasios etc.
4	baja	no se debe aplicar nunca

Tabla 4.4. Calidad del aire en función de la aplicación a la que se dedica el edificio.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- *Potencia instalada de iluminación.* Este parámetro se ha obtenido sabiendo la potencia instalada y el área de uno de los espacios del edificio y suponiendo la misma para el resto del edificio. Así, la potencia instalada es de 9 W/m^2 para cada uno de los espacios.
- *Valor de la eficiencia energética de la instalación del edificio objeto (VEEI).* Para la obtención de estos valores para cada uno de los espacios se ha necesitado la potencia total instalada, la superficie iluminada y la iluminancia media horizontal mantenida. Para los dos primeros parámetros hemos utilizado en todos los espacios el valor obtenido en el punto anterior, y para el tercer parámetro nos hemos ayudado de una tabla de la norma UNE EN 12464-1 que muestra los valores mínimos límite que puede adquirir dicho parámetro según el tipo de edificio. Así, hemos obtenido los siguientes valores para los distintos espacios:
 - $3 \text{ W/m}^2100\text{lux}$ para todos los espacios exceptuando los espacios 3 (cafetería) y 6 (salón de actos).
 - $8 \text{ W/m}^2100\text{lux}$ para la cafetería.
 - $7 \text{ W/m}^2100\text{lux}$ para el salón de actos.
- *VEEI límite según el CTE-HE3.* Para cada uno de los espacios hemos obtenido este valor observando la tabla 2.1 del apartado 2.1 del HE-3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación del CTE (Ver anexo B.2).

Con esta tabla, los valores utilizados para cada uno de los espacios son los siguientes:

- Para la cafetería (espacio 3) y el salón de actos (espacio 6) se ha utilizado un valor de $10 \text{ W/m}^2100\text{lux}$.
- Para el sótano se ha escogido un valor de $5 \text{ W/m}^2100\text{lux}$.
- Para el resto de espacios (aulas, despachos, naves, biblioteca) el valor utilizado es de $4 \text{ W/m}^2100\text{lux}$.

4.2.3. Composición de los cerramientos y de los huecos exteriores.

Independientemente de la demanda energética del edificio y con el fin de limitar las descompensaciones entre la calidad térmica de los diferentes espacios, todos y cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica deben poseer una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 2.1 del apartado 2.1 del HE-1 Limitación de demanda energética del Documento Básico HE Ahorro de Energía del CTE (mostrada a continuación). En definitiva, esta limitación debe cumplirse, y en caso de no ser así, el programa nos lo indicará mostrando el cerramiento que la incumple así como el motivo del incumplimiento.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m²K

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

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

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

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

Tabla 4.5. Transmitancia térmica máxima límite de los cerramientos del edificio.

Como podemos apreciar en la tabla 4.5, los valores de transmitancia térmica vienen dados en función de la zona climática donde se encuentre el edificio a estudio. En el caso que nos ocupa, y como se ha señalado en la tabla mediante una elipse de color rojiza se trata de una zona D.

Para empezar se han definido los diferentes cerramientos exteriores del edificio, modificando aquellos que no cumplían con la normativa, y que por tanto, impedían la resolución con el programa informático. Para la introducción de las diferentes capas de cada cerramiento, se han cogido los materiales que nos aportaba la biblioteca del programa LIDER que más se asemejaban a los usados en la construcción real, y con los que obteníamos una transmitancia térmica del cerramiento similar a la de obra.

Con ello, se ha pasado a definir los distintos cerramientos utilizados en el edificio en el anexo B.3.1, en el cual, tenemos la configuración de los cinco tipos de cerramientos exteriores presentes en el edificio: muro hormigón, muro sandwich, forjado entreplantas, solera y cubierta; así como las transmitancias térmicas de cada uno y los ajustes necesarios que han sido realizados.

Posteriormente, una vez que hayamos introducido las plantas de los distintos espacios y la descripción de los cerramientos y forjados del edificio, se ha pasado a la definición los distintos huecos exteriores en forma de ventanas o puertas que había en el edificio (ver anexo B.3.2).

4.3.- Resultados obtenidos con el programa LIDER

Una vez que tenemos el edificio objeto diseñado se procede a pulsar el botón de 'cálculo' y se realiza la simulación en el programa LIDER. Así, se obtienen una serie de resultados que se muestran en un apartado denominado 'resultados' dentro del propio programa. Donde hay dos pestañas: una que nos da la información del edificio de forma global o la otra da información espacio por espacio.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Para saber cómo analizar los resultados que nos proporciona el programa LIDER, una vez realizada la simulación del edificio en cuestión, podemos observar un ejemplo en el anexo B.4; donde observamos los resultados obtenidos para un edificio ejemplo y como analizar los resultados de dicho edificio.

4.3.1.- Resultados obtenidos para el Agustín de Betancourt

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación realizada para nuestro edificio objeto, el Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza. Para realizar esta simulación, se ha tenido que disminuir la transmitancia térmica del vidrio hasta un valor que permitiera realizar la simulación cumpliendo con las condiciones de la normativa. Así, se ha realizado la simulación con un vidrio de transmisividad $3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Se han realizado dos simulaciones con diferentes posiciones de las lamas (cerradas a 0° y abiertas completamente a 90°) para observar cómo se comportaba el edificio ante la variación de este parámetro.

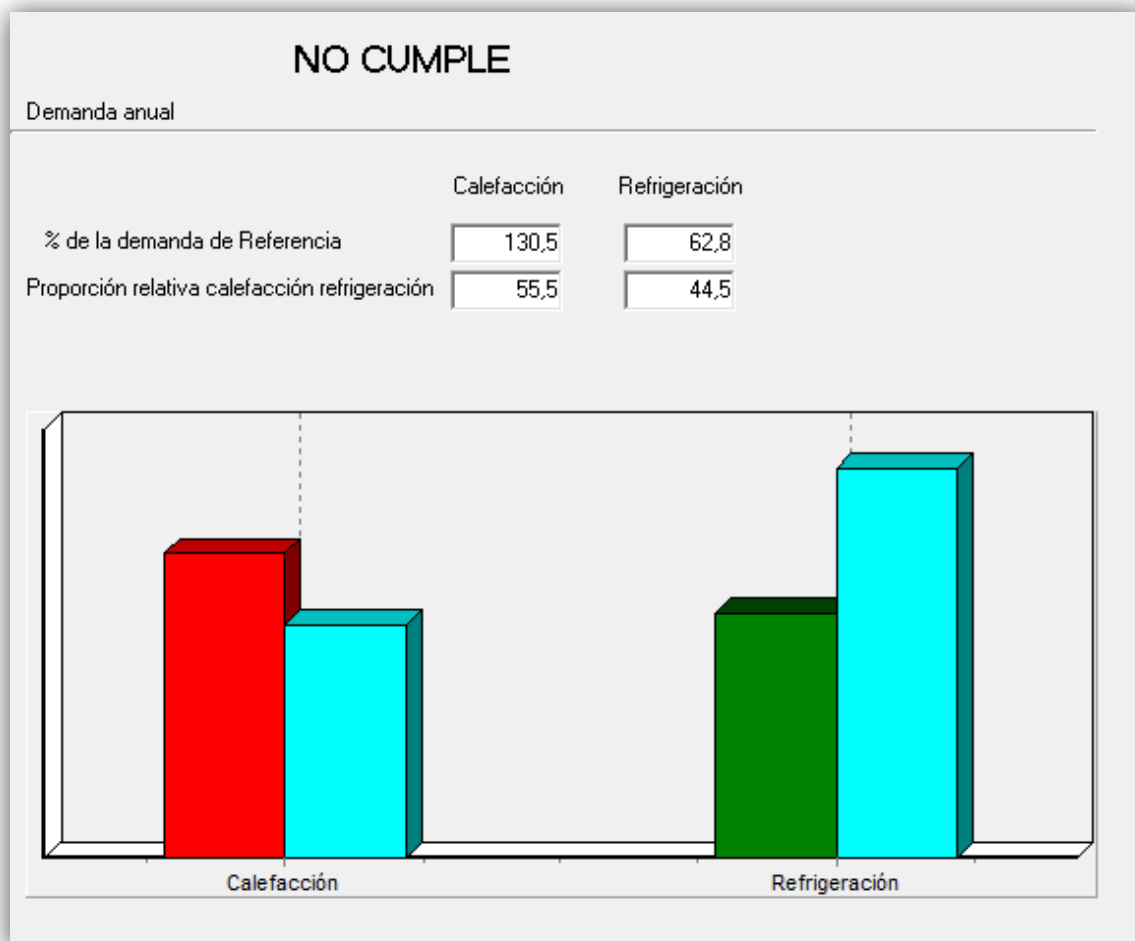


Figura 4.6. Resultados obtenidos con LIDER de nuestro edificio a estudio con las lamas cerradas (0°)

Como podemos observar en la figura 4.6, el resultado de la simulación es que nuestro edificio no cumple con la limitación de demanda energética del Código Técnico de la Edificación. Esto

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

se debe, a que como se muestra en el gráfico con una barra de color rojo, la demanda de calefacción de nuestro edificio objeto supera a la del edificio de referencia, siendo esta demanda de un 130,5% la de referencia. Sin embargo, la demanda de refrigeración de nuestro edificio objeto aparece en color verde debido a que es el 62,8% de la de referencia. También observamos que la importancia de la demanda de calefacción es ligeramente superior a la de refrigeración (55,5% vs. 44,5%).

En la tabla 4.7, observamos la resolución del edificio detallándonos cada uno de los espacios del mismo.

Espacio	Superficie (m2)	Calefacción		Refrigeración	
		% de max	% de ref	% de max	% de ref
Biblioteca	1269	100,0	101,3	100,0	63,7
Cafetería	815,2	65,3	100,0	81,1	69,9
Naves Sur	1268,8	36,2	153,4	62,1	49,2
Naves Norte	1587,8	30,5	84,4	62,6	84,7
Salón de actos	698,5	53,6	103,5	66,1	70,0
Despachos Sur PB	793,2	9,8	147,9	76,9	58,7
Despachos Sur P1	793,2	6,6	267,7	93,1	61,7
Despachos Sur P2	793,2	15,0	346,8	82,6	58,4
Despachos Norte PB	691,2	16,0	95,4	67,8	58,6
Despachos Norte P1	691,2	16,9	175,1	75,7	54,1
Despachos Norte P2	691,2	25,8	171,2	76,4	58,8
Aulas Sur PB	1968,3	6,9	101,7	90,7	80,2
Aulas Sur P1	1968,3	7,8	274,0	84,7	62,0
Aulas Sur P2	1968,3	16,2	300,2	77,8	58,7
Aulas Norte PB	1782,7	28,9	117,8	74,9	62,9
Aulas Norte P1	2089,5	27,7	183,7	80,2	59,2
Aulas Norte P2	1713,1	21,0	164,5	75,4	67,3
Aulas P3	2473,2	31,5	200,3	73,3	58,0

Tabla 4.7. Resultados por espacios de nuestro edificio objeto con lamas cerradas (0º) en LIDER

Como observamos en la tabla 4.7 al fijarnos en las columnas de ‘% de max’, la biblioteca es el espacio que mayor contribución tiene tanto a la demanda de calefacción como a la de refrigeración. Por otro lado, observando la última columna vemos que la totalidad de los espacios cumplirían la normativa en lo que a refrigeración se refiere. Por el contrario, observando la columna cuarta, se aprecia que tan solo dos de los espacios del edificio cumplen la normativa en cuanto a calefacción, pasándose algunos de ellos excesivamente de la demanda de referencia como por ejemplo la zona de despachos sur en su planta segunda (346,8% de ref). Esto nos demuestra el porqué en el resultado global del edificio no se cumplía con la normativa en lo que a calefacción se refiere.

Por tanto, se deben tomar medidas para conseguir disminuir esas necesidades del edificio objeto en lo que a calefacción se refiere, teniendo en cuenta que un posible descenso de demanda en calefacción puede traer consigo un aumento de necesidades de refrigeración.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Se ha simulado la situación en la que el edificio se encuentra con la totalidad de las lamas abiertas a 90° (ver figura 4.8).

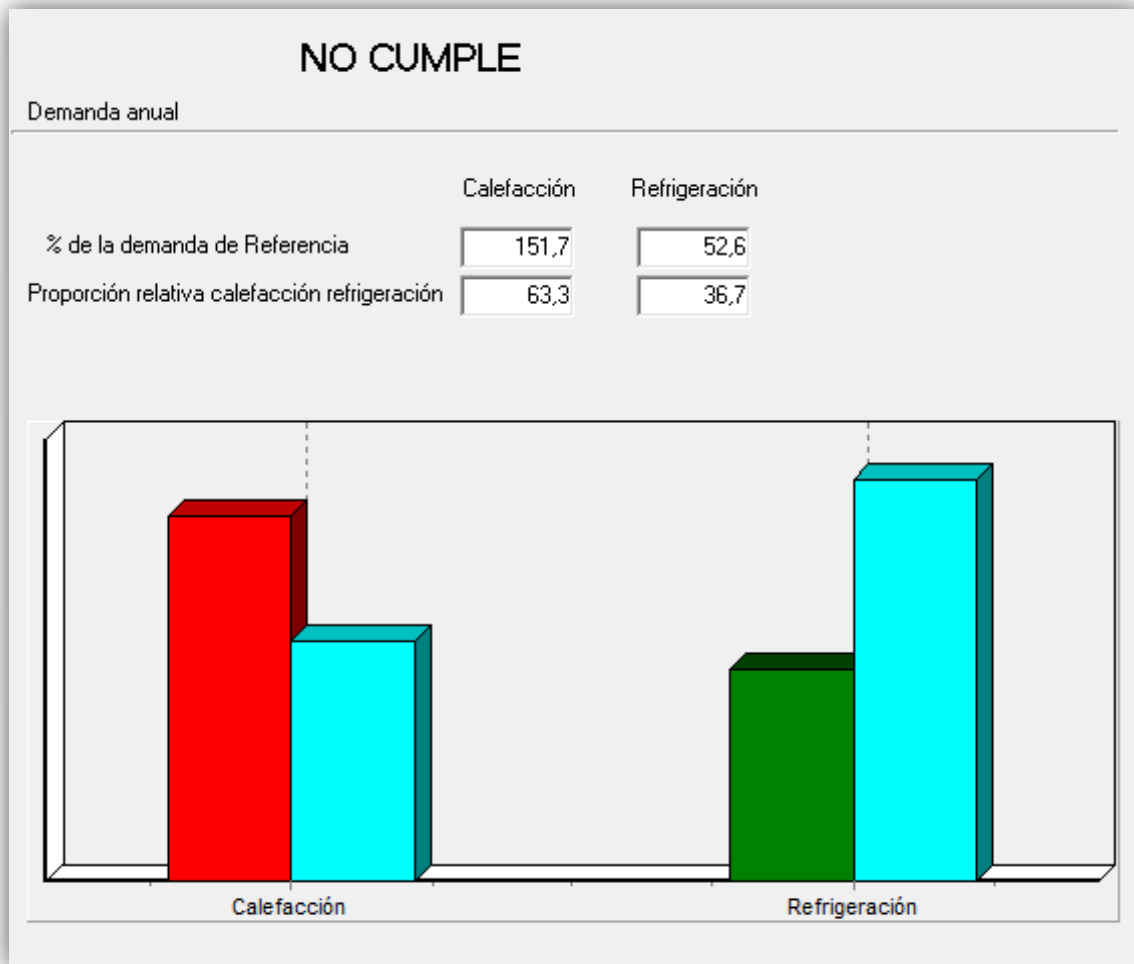


Figura 4.8. Resultados obtenidos con LIDER de nuestro edificio objeto con lamas abiertas (90°)

Al ver la figura 4.8, apreciamos que el edificio no cumple con la normativa, y además, la demanda de calefacción supera en mayor proporción que el caso de las lamas cerradas la demanda de referencia (151,7%). Al igual que en el caso anterior, la demanda de refrigeración está representada con una barra verde porque sí esta dentro de la normativa, ya que es de un 52,6% la de referencia. También, se puede ver como la importancia de la calefacción ha aumentado al simular con las lamas abiertas frente a simular el edificio con la totalidad de las lamas cerradas (63,3% vs 55,5%).

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

A continuación analizamos la tabla 4.9, en la que se nos detalla cada uno de los espacios que forman el edificio.

Espacio	Superficie (m2)	Calefacción		Refrigeración	
		% de max	% de ref	% de max	% de ref
Biblioteca	1269	100,0	112,8	100,0	49,9
Cafetería	815,2	61,3	104,5	95,7	64,6
Naves Sur	1268,8	40,5	191,1	61,1	37,9
Naves Norte	1587,8	28,2	87,0	74,2	78,7
Salón de actos	698,5	52,1	111,9	73,3	60,8
Despachos Sur PB	793,2	11,8	198,1	76,9	46,0
Despachos Sur P1	793,2	10,2	465,1	92,1	47,7
Despachos Sur P2	793,2	17,8	459,3	91,7	50,8
Despachos Norte PB	691,2	16,7	111,3	71,9	48,6
Despachos Norte P1	691,2	17,7	204,2	81,2	45,4
Despachos Norte P2	691,2	25,2	186,2	83,4	50,3
Aulas Sur PB	1968,3	9,5	155,3	99,7	69,0
Aulas Sur P1	1968,3	12,0	471,0	87,8	50,3
Aulas Sur P2	1968,3	19,8	408,4	86,2	50,9
Aulas Norte PB	1782,7	28,3	128,0	79,4	52,2
Aulas Norte P1	2089,5	27,7	204,7	82,3	47,6
Aulas Norte P2	1713,1	21,1	184,3	85,4	59,7
Aulas P3	2473,2	33,4	236,3	77,4	48,0

Tabla 4.9. Resultados por espacios de nuestro edificio objeto con lamas abiertas (90°) en LIDER

Observando la tabla 4.9, podemos ver como los resultados por espacios se asemejan a los obtenidos anteriormente para el edificio con las lamas cerradas.

La biblioteca sigue siendo el espacio que más contribuye tanto a la demanda de calefacción como a la de refrigeración. Por otro lado, observando la última columna, se puede ver como la demanda de refrigeración de la totalidad de los espacios del edificio ha disminuido siendo inferior a la obtenida para la otra simulación. En lo que a calefacción se refiere, solo un espacio, el de naves Norte, cumple con la normativa obteniendo valores superiores al 400% del de referencia y varios de los espacios.

4.3.2.- Análisis de los resultados y mejoras propuestas

Al contrario de lo que podíamos pensar, la apertura de las lamas no ha traído consigo una disminución de las necesidades de calefacción, sino que además ha traído un aumento en las mismas. Esto puede deberse a que el edificio posee unos vidrios con alta transmitancia térmica, lo cual, nos hace perder gran cantidad de energía en forma de calor a través de ellos, lo cual se acentúa sin la protección de las propias lamas.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Observando los resultados obtenidos, podemos extraer la conclusión de que nuestro objetivo va a ser disminuir las necesidades de calefacción del edificio, pero teniendo en cuenta, que un descenso de la demanda de calefacción puede traer un aumento en la de refrigeración. Para poder disminuir esta demanda de calefacción se han pensado una serie de opciones con las que se obtienen unos resultados que comentaremos a continuación y que se pueden observar con más detalle en el anexo B.5:

1.- Disminuir la transmitancia térmica del vidrio. Al disminuir la transmitancia térmica, conseguiremos unos vidrios que permitirán aislar térmicamente mejor el edificio debido a que la energía en forma de calor que se disipará a través de ellos disminuirá, y podremos aprovechar mayor parte del calor generado por la alta carga interna del edificio disminuyendo las necesidades en forma de calefacción.

Para poder observar el comportamiento del edificio ante este cambio se ha realizado una simulación con las lamas cerradas buscando un vidrio que se asemejará al de la obra pero que tuviera una transmitancia térmica algo menor. Así, se ha utilizado un vidrio (*vidrio 1*) de la marca Saint Gobain Glass – Climalit con una transmitancia térmica de $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor solar de 0,46 entre otras propiedades mostradas en el anexo mencionado.

Con este vidrio se ha conseguido disminuir la demanda de calefacción, pero no lo necesario ya que sigue siendo de un 120% del valor de referencia, y por tanto, incumple la normativa. Este descenso en la demanda de calefacción ha provocado un aumento en la de refrigeración, pero todavía se mantiene bastante por debajo de la de referencia (66,3%). Por otro lado, vemos que la demanda de refrigeración ha ganado importancia siendo del 48% frente al 52% la de calefacción.

Analizando los resultados por espacios que se muestran en el anexo, observamos como la biblioteca sigue siendo el espacio que más influencia tiene sobre ambas demandas. También apreciamos que son bastantes los espacios que no cumplen la normativa en lo que a calefacción se refiere aunque en menor medida que en la simulación anterior.

2.- Aumentar el factor solar del vidrio. El factor solar designa la energía térmica que penetra en el edificio por medio de la radiación solar. Al aumentar el factor solar incrementaremos el flujo de calor a través del cerramiento y hueco disminuyendo así la demanda de calefacción.

Para ver el comportamiento térmico del edificio sobre este parámetro, se ha realizado una simulación del edificio con las lamas cerradas utilizando un vidrio de unas características tales que partiendo de la simulación anterior varíe únicamente, en la medida de lo posible, el factor solar. Con esto, se ha utilizado un vidrio (*vidrio 2*) de la marca Saint Gobain Glass – Climalit con una transmitancia térmica de $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor solar de 0,58.

Los resultados obtenidos se observan con detalle en el anexo B.5, y a continuación se comentan los resultados más relevantes: se ha conseguido disminuir la demanda de

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

calefacción al 115% del de referencia pero todavía se encuentra fuera de la normativa. Por otro lado, la demanda de refrigeración ha aumentado ligeramente cobrando un poco más de importancia que la de calefacción (50,5% vs 49,5%).

Si nos fijamos en las simulaciones realizadas para ambos vidrios (vidrio 1 y vidrio 2), concluiremos que la disminución de la transmitancia térmica es más influyente en la disminución de la demanda de calefacción que el propio aumento del factor solar. Por tanto, deberemos proseguir la búsqueda del vidrio adecuado con las simulaciones, realizando modificaciones de ambos factores del vidrio del edificio, tanto el aumento del factor solar como la disminución de la transmitancia térmica, pero principalmente basándonos en la bajada de la transmitancia térmica. Para así, poder conseguir un edificio que cumpla con los requisitos del Código Técnico de la Edificación en cuanto a limitación de demanda energética se refiere.

Para ello, pasamos a realizar diversas simulaciones (ver anexo B.5) hasta conseguir un vidrio (vidrio 5) que cumpla con la normativa establecida en el Código Técnico de la Edificación. Dicho vidrio es de la marca ISOLAR y posee una transmitancia térmica de $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor solar de 0,63.

Con él, conseguimos disminuir la demanda de calefacción por debajo del umbral de la de referencia (92,1%), quedando la demanda de refrigeración en un 79,3% de la referencia. También observamos como la importancia de la demanda de refrigeración ha ganado peso con respecto a la de calefacción (59,3 vs. 40,7).

Si realizamos el análisis por espacios, observamos como sigue siendo la biblioteca el espacio más importante en las demandas de calefacción y refrigeración. Siendo la cafetería y salón de actos, otros espacios de importante influencia en la demanda de calefacción; por el contrario, los espacios situados en las zonas sur de las aulas y de los despachos son los menos importantes en esta demanda. En lo que se refiere a refrigeración, la mayoría de los espacios cobran parecida importancia siendo las naves las menos influyentes.

Si nos centramos en el cumplimiento de la limitación de demanda energética por espacios, observamos como la totalidad de los espacios se encuentra por debajo de la demanda de referencia en refrigeración; pero no así, en calefacción. Hay 7 espacios que no tienen una demanda menor que la de referencia, pero sin embargo, el edificio cumple globalmente la limitación de demanda energética ya que se compensan unos espacios con otros.

3.- Aumentar el aislamiento de los cerramientos exteriores. Si aumentamos el aislamiento de los cerramientos, disminuimos el calor evacuado a través de estos hacia el exterior, acumulando en el interior el calor generado. Además, el edificio posee la gran mayoría de sus espacios con una carga interna alta durante 16h, lo que genera gran cantidad de calor durante las horas de ocupación. Esta solución debe ser tal, que no haga aumentar la demanda de refrigeración, ya que se corre el riesgo de crear un efecto invernadero en el interior del edificio.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

La tercera posibilidad podría ser modificar los aislamientos del edificio, pero no se ha considerado porque nos veríamos obligados a cambiar la composición de los cerramientos del edificio lo cual será una obra de grandes dimensiones.

4.4.- Limitaciones del programa y dificultades encontradas

Como ya se ha comentado con anterioridad, el edificio objeto simulado en LIDER no se corresponde con el existente en la realidad, pero sí es una aproximación del edificio real que tiene un comportamiento similar al esperado.

El programa LIDER no es un programa que simule el comportamiento térmico del edificio sino que se utiliza para comprobar si el edificio en cuestión cumple con las exigencias del Código Técnico de la Edificación. Es por ello, por lo que el resultado más importante de estas simulaciones es si el edificio cumple o no con las exigencias de la normativa.

Durante el desarrollo del edificio Agustín de Betancourt en el programa LIDER se han encontrado una serie de dificultades y limitaciones propias del programa:

- El primer problema que nos encontramos fue la imposibilidad de introducir el edificio en su totalidad como un único espacio, debido a que el contorno del mismo posee un número de vértices bastante mayor a los 30 establecidos como límite para su posible exportación posterior a CALENER.
- El programa demanda una cantidad de datos elevada para definir los materiales que componen los cerramientos. Para introducir los diferentes cerramientos del edificio, se han utilizado los materiales que se encuentran en la biblioteca del programa, intentando escoger aquellos similares a los del proyecto, así como, un espesor de los mismos similar. Con ello, se han conseguido transmitancias térmicas de los cerramientos del edificio simulado muy similares a las del edificio real.
El uso de los materiales de la biblioteca LIDER, se debe principalmente a que el CTE marca unas especificaciones para justificar todos los materiales que no formen parte de la biblioteca del programa. Esta justificación oficial pasa por obtener un certificado del fabricante en la que se determinen todos los valores demandados por el programa.
- Otro problema que tuvimos que solventar, fue la formación de condensaciones intersticiales en los muros de hormigón que imposibilitaba la resolución en el programa; para solucionarlo, introducimos una capa de poliestireno en el lado caliente del cerramiento, que evita que la masa de vapor alcance la presión de saturación en el interior del muro.
- A la hora de introducir las múltiples zonas acristaladas así como las dimensiones y orientación de las lamas que posee el edificio, se han tenido que introducir una por

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

una debido a las diferentes medidas de cada una de ellas, con lo que se ha aumentado el tiempo de trabajo.

- El vidrio utilizado en el edificio real no cumple con la normativa, ya que posee una transmitancia térmica de $3,95 \text{ W/m}^2\text{K}$, siendo el límite establecido por el CTE de $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Por tanto, el programa no podía simular ya que indicaba un error. Para solventar este problema se ha buscado vidrios que si cumplieran esta exigencia, y que además intentaran cumplir con la normativa en cuanto a limitación de demanda energética se refiere.
- Un problema importante que ha acarreado la pérdida de gran cantidad de tiempo, ha sido la definición de las líneas que forman el contorno de algún espacio del edificio. Algunos de esos contornos se definieron erróneamente en sentido horario, pero el programa no proporcionaba ninguna información de posibles errores y resolvía la simulación con total normalidad. El problema surgió a posteriori, cuando una vez terminado y simulado el edificio en LIDER, el archivo se exportaba al programa CALENER donde aparecían errores de forma incomprensible. Se descubrió entonces que dichos errores provenían del LIDER, y por tanto, se tuvo que volver a realizar el edificio de nuevo con lo que ello conlleva.
- Debido a las grandes dimensiones y complejidad del edificio, el tiempo utilizado cada vez que se simulaba el edificio con el programa era bastante elevado.

4.5.- Conclusiones

De las diferentes simulaciones y análisis realizados para el edificio Agustín de Betancourt para ver su comportamiento energético y su cumplimiento de la normativa, se han extraído las siguientes conclusiones:

- El edificio no cumple con los actuales requisitos mínimos establecidos por el Código Técnico de la Edificación. Lo cual no impidió su construcción, ya que ésta se llevo a cabo antes de la entrada en vigor de esta normativa.
En la actualidad, todo edificio de nueva construcción o las rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil de más de 1000 m^2 en el que se sustituyan más del 25% del total de sus cerramientos, deben cumplir con la limitación de demanda energética que marca el Código Técnico de la Edificación en su documento HE-1.
- La demanda de calefacción del edificio objeto es bastante superior a la del edificio de referencia y es por ello por lo que con cumple la normativa; sin embargo, la demanda de refrigeración está por debajo del edificio de referencia.
- Los vidrios utilizados en el edificio construido poseen unos valores de transmitancia térmica superiores a los máximos permitidos en el CTE, por lo que no podría realizarse

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

la simulación con LIDER. Para ello, debemos encontrar unos vidrios con menores transmitancias térmicas que permitan realizar la simulación para estudiar el comportamiento del edificio.

- Una vez realizada la primera simulación, vemos que la demanda de calefacción del edificio objeto es muy superior a la del edificio de referencia, por lo que debemos encontrar unos vidrios con otras prestaciones (mayor factor solar y menor transmitancia térmica) que permitan realizar la simulación y además cumplan con la normativa.

5.- CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

5.1.- Introducción

En el RD 47/2007, que fue aprobado en enero de 2007 y aprueba el Procedimiento Básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción, se determina que el programa utilizado para obtener la calificación energética del edificio deberá ser el CALENER u otro programa que cumpla con las especificaciones definidas en el anexo I del mismo Real Decreto. Dicho Real Decreto entra en vigor en Noviembre de 2007, y marca que la Certificación Energética es obligatoria para todo edificio de nueva construcción, así como para todas las modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes que posean una superficie de más de 1000m² donde se renueven más del 25% del total de sus cerramientos.

Existen dos versiones del programa CALENER: el CALENER-VYP que se utiliza para la certificación de edificios de viviendas y del pequeño y mediano sector terciario, y el CALENER-GT utilizado para grandes edificios terciarios.

Se ha utilizado el programa informático CALENER-GT (Calificación Energética de Edificios en su versión de Grandes edificios Terciarios), ofrecido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del IDAE (Instituto para la diversificación y el ahorro energético) y por el Ministerio de Vivienda, que se utiliza para la calificación energética de edificios terciarios de todo tipo y determinar el nivel de eficiencia energética del edificio en cuestión; y así, mediante esta aplicación informática, obtendremos una calificación energética del edificio de acuerdo a los parámetros estipulados en el RD 47/2007.



Mediante este procedimiento obtendremos una certificación energética y una etiqueta energética (ver figura 5.1.) que calificará el edificio en una escala de siete letras, que va desde la letra A (edificio más eficiente) hasta la letra G (edificio menos eficiente), en la cual se marca el consumo estimado de energía y las emisiones de CO₂ asociadas.

Por tanto, en la etiqueta energética tendremos los siguientes datos:

- Localidad
- Zona climática
- Uso que tiene el edificio (Residencial, comercial, docente...)
- Consumo de energía primaria expresado en kWh/año y en kWh/m².
- Emisiones de dióxido de carbono en kgCO₂/año y en kgCO₂/m².

La certificación energética obtenida de los edificios tienen las siguientes misiones:

- Limitar las emisiones de CO₂ para mejorar el medio ambiente.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- Facilitar la transparencia del mercado inmobiliario.
- Incluir una descripción de las características energéticas en los edificios.
- Posibilidad de mejorar las características energéticas de los edificios.
- Vigencia de 10 años.

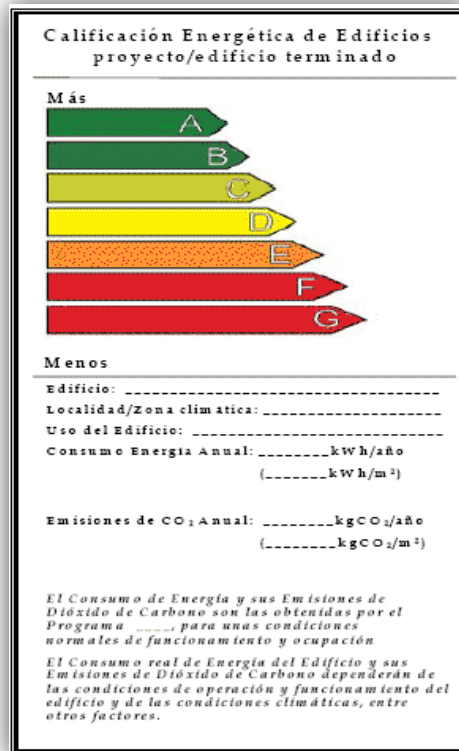


Figura 5.1. Modelo de etiqueta de calificación energética

El objetivo de esta certificación consiste en incentivar a las empresas a la construcción de edificios más eficientes y animar a las empresas a la rehabilitación de edificios para que consuman menos energía. Con esta etiqueta, se pretende que una promoción con una etiqueta más eficiente sume otro argumento positivo para su venta y el consumidor agregue la eficiencia energética a sus criterios de compra.

En primer lugar, se ha comentado la metodología a seguir en la aplicación informática para determinar el consumo energético del edificio a estudiar en términos generales, así como, las características del programa; para posteriormente, mostrar los resultados obtenidos en nuestro edificio que es el Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza.

Para realizar el análisis mediante este programa, se parte de las especificaciones que se habían definido en el LIDER, y se introduce la instalación de climatización del edificio a estudio que es el principal foco de consumo energético. Con todo ello, se analizan los resultados obtenidos en lo que a consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ se refiere.

5.2.- Implementación de los datos requeridos por el programa

El programa CALENER se compone de cuatro apartados para la definición del edificio, así como para la instalación primaria de climatización y sus subsistemas secundarios. Estos cuatro apartados son los siguientes: componentes, geometría, subsistemas primarios, subsistemas secundarios; y se comentarán cada uno de ellos en el proyecto.

Los dos primeros apartados vienen parcialmente definidos de la exportación del programa a través de LIDER aunque hay que realizar las modificaciones pertinentes; sin embargo, los dos últimos apartados, correspondientes a la instalación de climatización al completo, deben ser definidos en su totalidad en CALENER.

Con todo esto, podemos observar detalladamente la introducción de los datos requeridos por el programa en los dos primeros apartados (componentes y geometría) en el anexo C.1 del proyecto.

En el apartado de componentes hay que prestar especial atención al subapartado de horarios, los cuales tendrán gran importancia en la variación de los resultados obtenidos, ya que definen los horarios de iluminación, ocupación, infiltraciones y funcionamiento de la instalación de climatización entre otros. La mayoría de estos datos tienen una variación temporal y, a causa de esto, es por lo que los horarios definidos tienen una importante influencia en el consumo energético del edificio.

Por otro lado, en el apartado de geometría, mostrado en detalle en el anexo C.1.2, definimos las características propias de cada uno de los espacios, como pueden ser el tipo de espacio, la carga interna, los datos de ocupación, iluminación e infiltraciones de cada uno de ellos.

Una vez definidos los dos apartados comentados, pasamos a introducir la instalación de climatización del edificio mediante los apartados de subsistemas primarios y subsistemas secundarios.

5.2.1.- Subsistemas primarios

A continuación pasamos a uno de los puntos más importantes dentro de la simulación a través de CALENER-GT, que no es otro, que la definición del sistema de climatización con todos sus componentes.

En el capítulo 2 se ha realizado la descripción de la instalación de climatización, y a continuación, se muestra su implementación en el programa.

Una vez definido el funcionamiento y los componentes que forman la instalación de climatización, pasamos a ver como se ha introducido en el programa informático.

En primer lugar, se han definido cada una de las bombas presentes en la instalación sabiendo las características propias de cada una, así como los datos a introducir en el programa informático (ver anexo C.2).

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Una vez que se han definido todas las bombas presentes en la instalación, pasamos a definir el circuito primario de la instalación. Dado que no se puede simular el comportamiento de la instalación en lo que se refiere a alternar el uso de uno u otro de los dos subcircuitos primarios, se simulará uno de ellos dado que el comportamiento de ambos será similar. Así, se ha realizado la simulación con la parte correspondiente al subcircuito de agua caliente con las bombas primarias de agua caliente.

Una vez generado el circuito primario, tenemos que señalar que se trata de un circuito a dos tubos cuya bomba de circuito es la BPC. Por otro lado, el modo de operación de este circuito es por control del cambio estacional de temperatura. También, para el control de la temperatura del agua tanto en calefacción como en refrigeración se utiliza un control de tipo fijo siendo las temperaturas fijadas de 45°C y 7°C respectivamente.

Una vez que tenemos el circuito primario debemos definir el circuito de condensación de agua bruta, ya que el agua procede de los pozos del subsuelo. Además, le asignamos la bomba del circuito que es la B-7.

A continuación pasamos a definir las tres plantas enfriadoras que conectaremos al circuito primario y al circuito de condensación referidos anteriormente. Al definir las plantas enfriadoras nos piden una serie de características que se muestran a continuación:

- *Tipo:* Bomba de calor a dos tubos
- *Capacidad nominal de refrigeración:* 550kW
- *Capacidad nominal de calefacción:* 702kW
- *EER (electricidad):* 3,8
- *COP (electricidad):* 3,4
- *Tipo de condensación:* por agua

Observando la placa de características de las plantas enfriadoras situadas en la sala de máquinas de sótano del edificio tenemos los siguientes datos:

- *Fabricante:* CIAT
- *Importador:* CIATESA
- *Modelo:* LR 2200.2
- *Potencia nominal absorbida:* 152kW
- *Tensión:* 3/50Hz/400
- *Peso funcionamiento:* 3150kg

Una vez definido el circuito primario, el de condensación y las plantas enfriadoras pasamos a definir los circuitos secundarios del edificio (ver anexo C.3), es decir, los circuitos que llevan el fluido a las unidades de tratamiento de aire que se encargaran de climatizar los distintos espacios que componen el edificio. El número de circuitos que hay de este tipo se corresponde con el número de bombas secundarias de la instalación.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Tras la definición de los distintos circuitos secundarios presentes en la instalación, y una vez que se definan los subsistemas secundarios, deberemos asignar los distintos subsistemas secundarios a sus correspondientes circuitos secundarios además de a los distintos espacios.

Una vez definido los circuitos de la instalación (primario, el de condensación y secundarios) y las plantas enfriadoras pasamos a definir los subsistemas secundarios del edificio, es decir, las unidades de tratamiento de aire que se encargaran de climatizar los distintos espacios que componen el edificio.

Dado que en la simulación a realizar en CALENER debemos meter un subsistema secundario para cada espacio, y en nuestro edificio tenemos catorce tipos de fan-coils (ver anexo C.4) distribuidos por todo el edificio, se ha decidido crear para cada espacio que posea estos elementos, un tipo de fan-coil sumando las potencias y caudales de todos los fan-coils situados en ese espacio (ver anexo C.5).

Con esto, para introducir los fan-coils en el programa debemos señalar el tipo de sistema que son ventiloconvectores. Otro dato a introducir en todos los grupos de fan-coils es el horario de los ventiladores de impulsión que indica cuando el sistema está en funcionamiento o no. Dicho horario, se corresponde con el que se había definido en la sección de horarios como 'Ventiladores', tratándose de un horario de tipo todo/nada como se ha comentado. Además, en lo que se refiere al control de la temperatura de impulsión tenemos unos valores máximo de 35°C para evitar la estratificación y que se climatice todo el local, y mínimo de 15°C para evitar problemas de condensaciones. Una vez, introducidas estas características pasaríamos a introducir los distintos fan coils utilizados en la simulación que se muestran en el anexo C.5.

A continuación definimos las características utilizadas para los diez aerotermos que proporcionan calefacción a la zona de naves en la que están situados. En la zona de naves tenemos dos espacios, que son los de naves norte (espacio 5) y naves sur (espacio 4) y en cada uno de ellos existen cinco aerotermos. Para introducir estos elementos en la simulación, debemos definir un tipo de sistema denominado 'Termoventilación' y las características utilizadas para cada uno de los dos espacios son las siguientes:

- Modelo: Wolf LH-63/3
- Caudal del ventilador de impulsión: 17500 m³/h (caudal de cinco aerotermos)
- Potencia batería de calefacción: 84,10 kW (potencia de cinco unidades)

Ahora pasamos a definir los únicos subsistemas secundarios que nos quedan por comentar, es decir, los cuatro climatizadores presentes en el edificio. Todos ellos están fabricados por TROX a la medida necesaria para climatizar cada espacio al que están destinados. Por tanto, pasamos a definir sus características en el anexo C.6.

Como vemos, tenemos cuatro climatizadores, de los cuales tres de ellos pertenecen cada uno a uno de los espacios definidos, pero el cuarto (aire primario) forma parte de varios espacios.

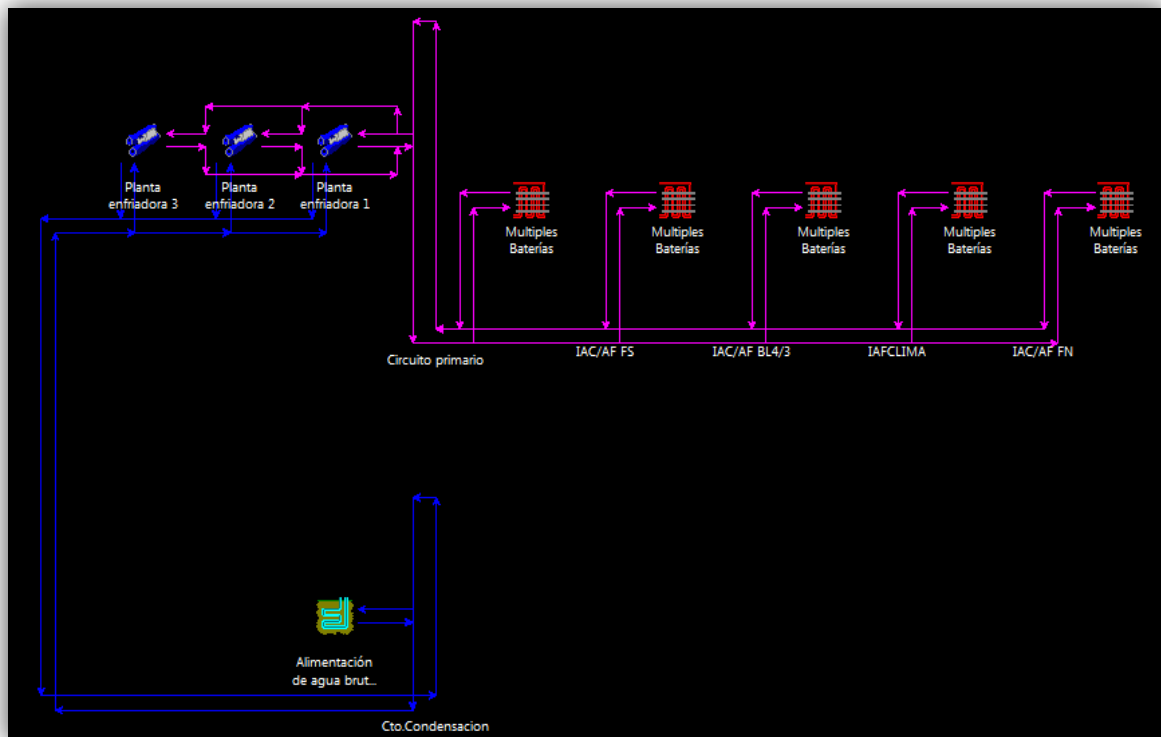


Figura 5.2. Vista de la instalación de climatización simulada en el programa CALENER-GT

Como se ha comentado anteriormente, el programa no permite asignar varios subsistemas secundarios a un mismo espacio térmico; por tanto, la solución pasa por crear espacios ficticios que permitan simular el comportamiento energético de los subsistemas secundarios en las zonas donde haya más de un subsistema.

Así, se han necesitado crear cuatro espacios ficticios para poder asignar varios subsistemas a un mismo espacio. Los espacios ficticios creados son los siguientes:

- ✓ Zona ficticia aire primario: para poder simular el comportamiento energético del climatizador de aire primario en los siete espacios de aulas.
- ✓ Zona ficticia biblioteca: para simular la zona de biblioteca que posee fan coils y el climatizador.
- ✓ Zona ficticia naves Sur: para simular la zona de naves en la que hay aerotermos y fan coils.
- ✓ Zona ficticia naves Norte: al igual que el anterior, es un espacio que posee aerotermos y fan coils.

Por tanto, se ha comentado el proceso seguido para crear un espacio ficticio (ver anexo C.7) y así poder introducir la totalidad de las unidades de tratamiento de aire que operan en el edificio a estudio.

5.2.2.- Subsistemas secundarios

Una vez definidos todos los parámetros del circuito, únicamente nos queda asignar a cada espacio su correspondiente subsistema secundario y ya tendremos la instalación preparada para ser simulada. Por tanto, en esta pestaña, lo que hacemos es asignar a cada espacio creado un subsistema secundario de los definidos anteriormente.

Posteriormente, ajustamos el caudal de aire de impulsión para cada espacio, que se corresponde con el dato introducido anteriormente en los subsistemas secundarios, y metemos un 20% de ese caudal como aire exterior ya que no tenemos esta información.

5.3.- Resultados de la simulación

Una vez definidos todos los parámetros necesarios en el programa, se procede a realizar la simulación del edificio.

Para la primera simulación (simulación 1) realizada se ha considerado que no existían lamas protectoras en los acristalamientos, o lo que es lo mismo, que la totalidad de las lamas del edificio se encontraban completamente abiertas. También, en esta simulación, se ha simulado el edificio con las propiedades reales de los cristales para ver la calificación más real posible del edificio. Así, los resultados obtenidos son los siguientes:

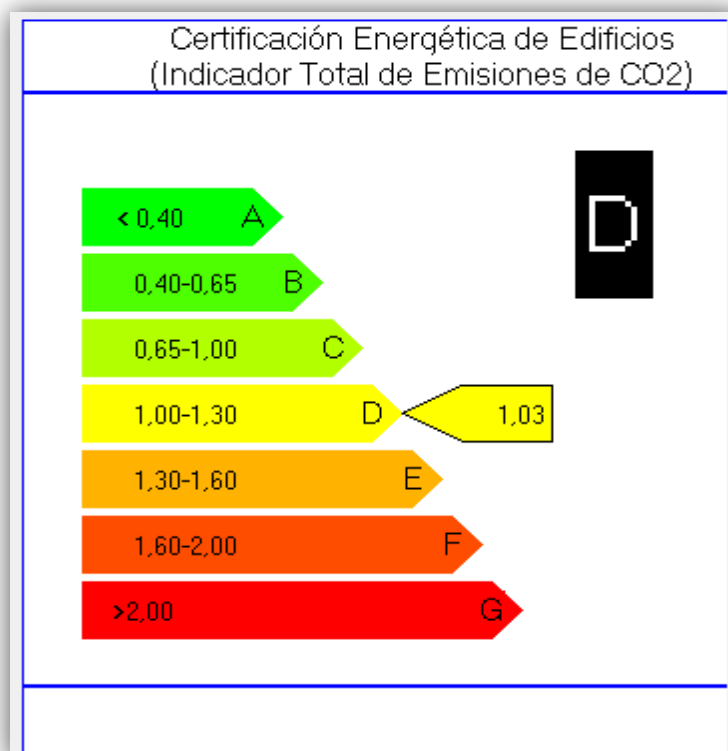


Figura 5.3. Vista de la calificación energética obtenida en la simulación 1

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

En la figura 5.3, observamos que se ha obtenido una calificación energética D para el edificio simulado.

Para la calificación energética global de un edificio, el programa CALENER se basa en el cálculo de una serie de indicadores de eficiencia energética o indicadores energéticos. Dichos indicadores son los siguientes: demanda de calefacción, demanda de refrigeración, emisiones de climatización, emisiones de ACS, emisiones de iluminación y emisiones totales.

El cálculo de estos indicadores se realiza dividiendo el concepto que califican para el edificio objeto por el del edificio de referencia. Por tanto, para los indicadores de emisiones, si el índice obtenido es mayor de uno, quiere decir que el edificio objeto emite más CO₂ que el edificio de referencia.

Los datos relaciones con las demandas de calefacción y refrigeración nos dan información sobre la calidad térmica de la envolvente del edificio.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS					
Indicadores		OBJ	REF	IND	CAL
Demanda Calefacción:	(kWh/m ²)	53,3	27,1	1,97	F
Demanda Refrigeración:	(kWh/m ²)	83,4	96,0	0,87	C
Climatización:	(Tn CO ₂ /m ²)	45,9	38,1	1,20	D
Agua Caliente Sanitaria:	(Tn CO ₂ /m ²)	0,0	0,0	0,00	A
Iluminación:	(Tn CO ₂ /m ²)	17,8	23,9	0,74	C
Total:	(Tn CO ₂ /m ²)	63,6	61,9	1,03	D

OBJ: Edificio objeto de calificación.
REF: Valores para el edificio de referencia para la comparación.
IND: Valor del indicador.
CAL: Letra asignada al indicador para su calificación.

Figura 5.4. Vista de los valores de eficiencia energética para cada uno de los indicadores

Viendo la figura 5.4, podemos afirmar que la demanda de calefacción es el indicador menos eficiente del edificio (calificación F) cercano a la peor calificación posible, mientras que la demanda de refrigeración y la iluminación poseen los índices más bajos y por tanto de mejor eficiencia energética. Así, deberemos actuar sobre el edificio de tal manera que se consiga disminuir la demanda de calefacción y mejorar este indicador, ya que si lo conseguimos podremos mejorar la calificación energética del edificio globalmente.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Otros datos que nos aporta la resolución en CALENER son una serie de informes. En ellos podemos apreciar los consumos energéticos en términos de energía primaria y las emisiones de CO₂ asociadas a la energía primaria consumida. Entre estos informes se encuentran: el informe mensual del edificio, el informe anual del edificio y un informe comparativo de edificios en caso de querer comparar nuestro edificio con otros.

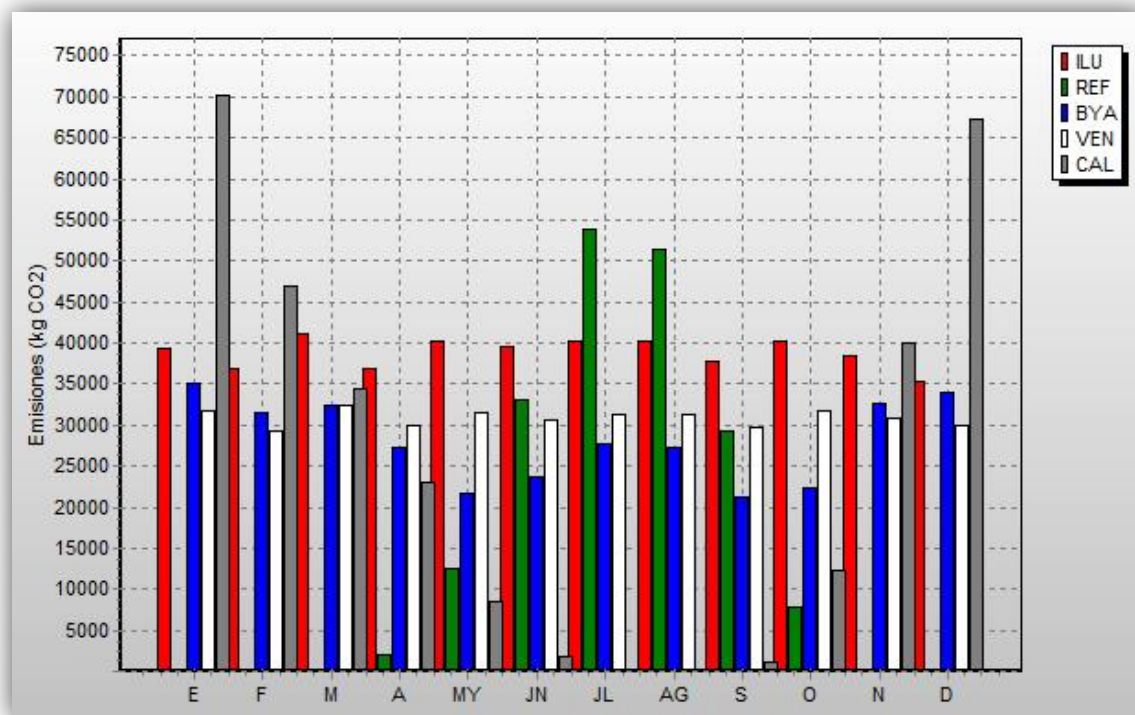


Figura 5.5. Vista gráfica del informe mensual de las emisiones de CO₂ del edificio en la simulación 1

Emisiones (kg CO ₂)													
	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	39274,6	36871,0	41108,1	36871,0	40191,4	39447,9	40191,4	40191,4	37787,8	40191,4	38531,2	35210,8	465867,7
Refrigeración	0,0	0,0	317,9	2090,7	12481,5	33073,3	53943,6	51331,9	29206,3	7715,9	154,2	0,0	190315,5
Bombas y Auxiliares	35089,3	31524,6	32399,1	27348,6	21738,9	23603,0	27818,4	27311,7	21241,5	22437,7	32530,5	34068,4	337111,8
Ventiladores	31742,9	29274,0	32491,3	30022,2	31585,7	30530,2	31367,1	31353,4	29780,2	31632,5	30883,1	29909,3	370571,9
Calefacción	70092,9	46858,1	34435,9	22959,0	8447,4	1847,4	0,0	0,0	1174,8	12311,6	40035,9	67261,1	305424,0
TOTAL	176199,7	144527,6	140752,4	119291,5	114444,9	128501,9	153320,5	150188,5	119190,5	114289,0	142134,9	166449,7	1669291,1

Tabla 5.6. Vista de los resultados numéricos mensuales de emisiones de CO₂

En la figura 5.5 y en la tabla 5.6, vemos las emisiones de CO₂ a lo largo de los distintos meses del año y según su utilización en los distintos sistemas del edificio (iluminación, refrigeración, bombas y auxiliares, ventilación, calefacción).

A continuación comentamos las emisiones para cada una de las aplicaciones:

- Iluminación: posee unas emisiones altas y bastante uniformes a lo largo del año.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- Refrigeración: en los meses más fríos del año (Enero, Febrero, Diciembre) no produce emisiones debido a que la demanda de refrigeración es nula; en Marzo y Noviembre también tiene unas escasas emisiones debido a la baja demanda de refrigeración; pero en los meses de verano, sobre todo en Julio y Agosto, tiene unas elevadas emisiones de CO₂ debido a las altas necesidades de refrigerar el edificio.
- Bombas y auxiliares: las emisiones de CO₂ son bastante constantes a lo largo del año, siendo un poco superiores en los meses más fríos, debido, probablemente, a la alta necesidad de calefacción del edificio, y por tanto, de trabajo de estos equipos.
- Ventilación: el consumo energético en ventilación es similar a lo largo del año, y por tanto, sus emisiones tienen pocas variaciones.
- Calefacción: posee el mayor pico de consumo de energía del edificio en los meses de Enero y Diciembre, y por tanto, el mayor pico de emisión de CO₂. Esto es debido a la baja eficiencia energética del edificio en lo que a calefacción se refiere (ver figura 5.4), y a que los citados meses son los más fríos del año, y por tanto, lo que mayor demanda de calefacción poseen.

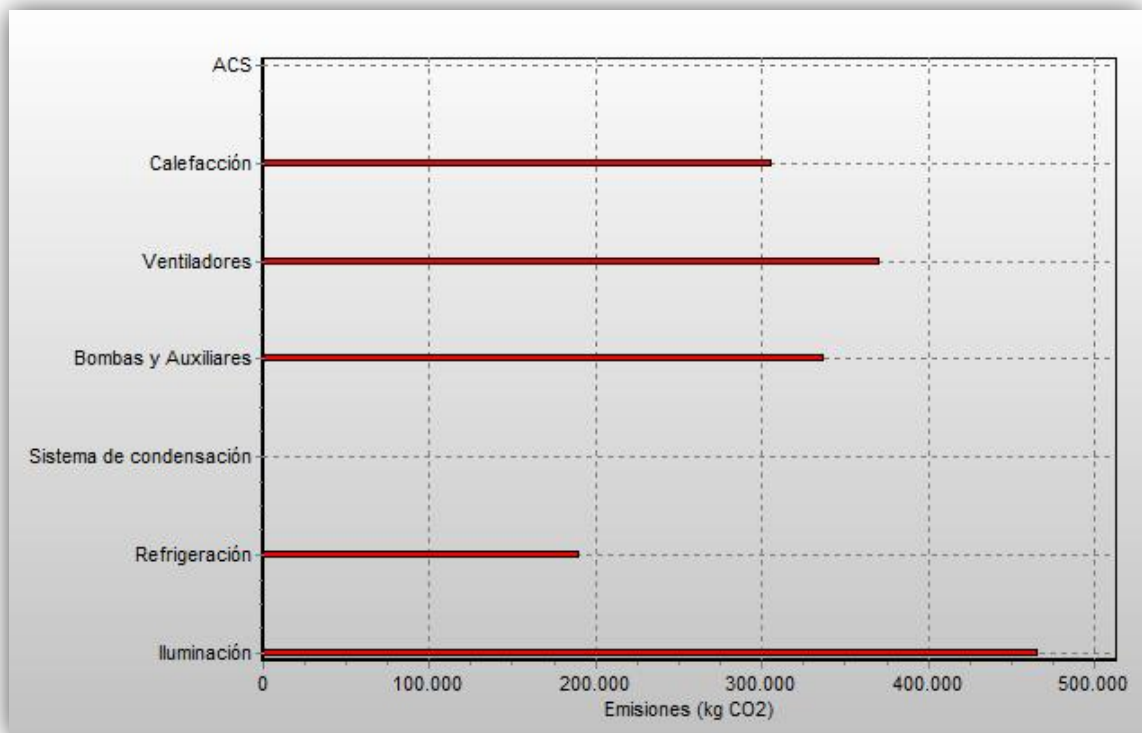


Figura 5.7. Vista gráfica del informe anual de emisiones de CO₂ en la simulación 1

En esta figura 5.7, se observa las emisiones anuales de CO₂ según los distintos consumos de energía. Como vemos, las mayores emisiones se realizan a través de la iluminación del edificio, por lo que habrá que tomar medidas correctoras que disminuyan el consumo en iluminación y, así, bajar sus emisiones.

Las menores emisiones se producen por refrigeración, pero habrá que modificar algún parámetro para disminuir las emisiones de calefacción, consiguiendo a la vez mejorar la

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

calificación energética del edificio; teniendo en cuenta, que la disminución del consumo energético por calefacción puede traer consigo un aumento en el gasto en refrigeración.

En la tabla 5.8, vemos los resultados numéricos de las emisiones totales de CO₂, que se representan gráficamente en la figura 5.9.

Emisiones (kg CO ₂)	
	Electricidad
Iluminación	465867,7
Refrigeración	190315,5
Sistema de condensación	0,0
Bombas y Auxiliares	337111,8
Ventiladores	370571,9
Calefacción	305424,0
ACS	0,0
TOTAL	1669290,9

Tabla 5.8. Vista de los resultados numéricos de emisiones anuales de CO₂

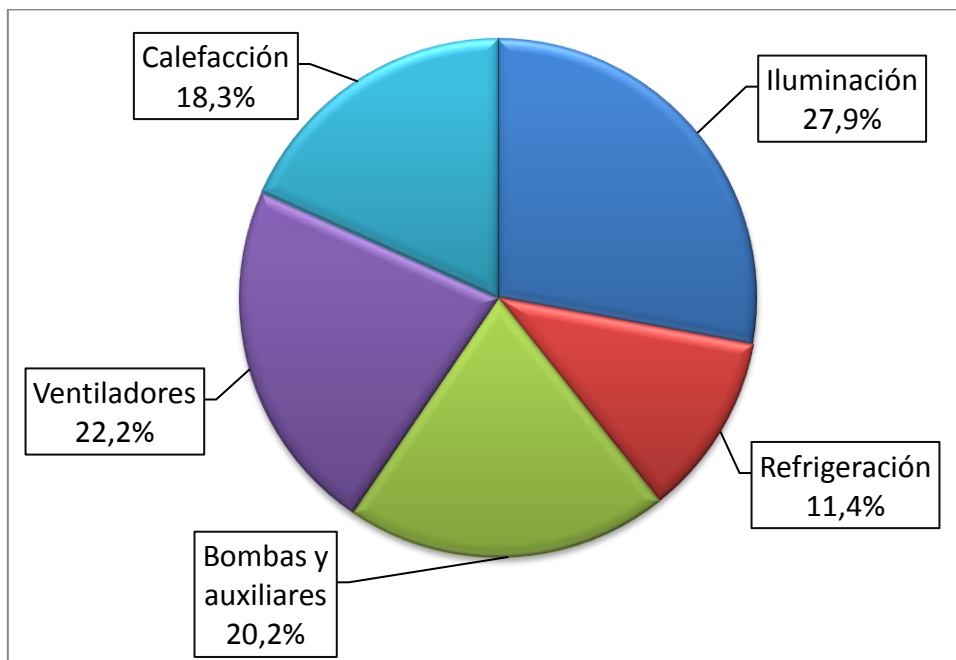


Figura 5.9. Diagrama de sectores del porcentaje de emisiones de CO₂ dependiendo de la aplicación

El diagrama de sectores mostrado en la figura 5.9, nos indica las aplicaciones que producen mayores emisiones de CO₂. Como podemos ver, la iluminación es la que mayores emisiones produce y por tanto, uno de los puntos a tratar en nuestro estudio.

5.4.- Propuestas de mejora

Una vez obtenidos los resultados para el edificio original, se han pensado una serie de mejoras que produzcan una reducción en el consumo de energía primaria y una reducción de las emisiones de CO₂. Para ello, se han realizado una serie de propuestas y se ha estudiado detalladamente su influencia en el anexo C.8 del presente proyecto. A continuación, se comentan las diferentes propuestas de mejora, que se pueden observar más detalladamente, como se ha comentado, en el anexo C.8:

1.- Utilización de los horarios para las lamas de las ventanas (Simulación 2)

Esta propuesta surge de la existencia de lamas exteriores de protección en la mayor parte de las ventanas existentes en le envolvente del edificio. Para simular estos elementos en el programa CALENER se utilizan los horarios de ganancia solar de las diferentes ventanas.

Para obtener una buena simulación se han realizado diversos horarios en función de la estación anual (verano, otoño, invierno, primavera) y de la orientación de los cerramientos (norte, sur, este, oeste), para conseguir un ajuste máximo en el beneficio de estas protecciones.

Una vez simulada nuestra propuesta, se ha obtenido una calificación energética D del edificio a estudio con un indicador total de emisiones menor que el anterior con valor 1,00 estando en el límite para obtener una calificación C.

Si analizamos los diferentes indicadores obtenidos, vemos que a pesar de aumentar el peor indicador que teníamos, es decir, el de calefacción, el edificio de forma global consume menos energía y por tanto, las emisiones de CO₂ son menores. También observamos una disminución en la refrigeración, y con ello, un mejor indicador de climatización.

Analizando las emisiones de CO₂ mensuales, podemos apreciar el importante descenso de las emisiones por refrigeración del edificio en los meses veraniegos, debido a la utilización de la protección como medida para evitar la radiación solar. Sin embargo, las emisiones por calefacción no mejoran debido a que la primera simulación se realizó con las lamas completamente abiertas y eso ayudaba a calefactar el edificio, y en esta simulación impedimos la radiación solar parcialmente.

Con todo esto, podemos afirmar como el aprovechamiento y uso correcto de las lamas de protección que poseen la mayor parte de las ventanas del edificio, nos produce un ahorro de 158635,5 kWh en el consumo de energía primaria y por tanto, una disminución de las emisiones de CO₂ de 39552,3 kg.

2.- Modificación de las propiedades de los cristales (Simulación 3)

Como también pudimos observar en el LIDER, las propiedades de las ventanas no son las adecuadas para cumplir la normativa del Código Técnico de la Edificación. Se van a proponer

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

otros vidrios con distintas propiedades (factor solar y transmitancia térmica) para observar el comportamiento térmico del edificio y conseguir una mayor eficiencia energética del edificio.

Para la simulación, se ha realizado la modificación de los vidrios sobre la simulación 1, para así obtener los beneficios de modificar los vidrios únicamente. Así, los vidrios utilizados son los mismos que nos cumplían la normativa en el programa LIDER. Dichos vidrios poseen una transmitancia térmica de $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor solar de 0,63.

Una vez realizada la simulación, obtenemos una calificación energética D al igual que en las anteriores simulaciones; pero el indicador global de emisiones tiene un valor de 1,00, mismo valor obtenido en la simulación 2 y mejor valor que en la simulación 1.

En el análisis de los diferentes indicadores obtenidos, vemos que se ha mejorado notablemente el indicador de calefacción a costa de un ligero empeoramiento en el de refrigeración; pero, el resultado es un indicador de climatización mejor.

Analizando las emisiones mensuales de CO_2 , observamos como en los meses fríos, a pesar de disminuir las necesidades de calefacción, las emisiones siguen siendo bastante elevadas; por el contrario, las emisiones de CO_2 debidas a la refrigeración en los meses cálidos han superado a las de calefacción.

En resumen, observando las figuras presentes en el anexo C.8, podemos afirmar que el aumento del factor solar y la disminución de la transmitancia térmica de las zonas acristaladas, ha traído consigo un aumento en las necesidades de refrigeración y una disminución en las necesidades de calefacción. Esto se debe a que el aumento del factor solar permite aumentar la cantidad de energía térmica que penetra en el edificio por radiación solar, y la disminución de la transmitancia térmica ayuda de manera que mejora el aislamiento térmico del edificio disminuyendo la evacuación en forma de calor que se perderá a través de las ventanas, lo que permite disminuir de manera considerable las necesidades de calefacción en los meses fríos y aumentar ligeramente las necesidades de refrigeración.

En definitiva, la modificación realizada sobre las propiedades de las ventanas, es decir, el cambio de los acristalamientos presentes en el edificio, supone una disminución en el consumo de energía primaria de 170527,5 kWh y una reducción de las emisiones de CO_2 de 42517 kg.

3.- Mayor ajuste de los horarios de iluminación (Simulación 4)

Observando los resultados obtenidos en la simulación 1, veíamos como la aplicación que mayor cantidad de energía consumía y que, por tanto, mayores emisiones de CO_2 mandaba era la iluminación del edificio. Por ello, se va a realizar un ajuste en los horarios de iluminación para disminuir el consumo energético de la instalación de iluminación, con la consiguiente disminución de las emisiones. Los ajustes realizados, así como los resultados obtenidos con más detalle se muestran en el anexo C.8.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

Analizando los resultados obtenidos, podemos apreciar un aumento en los valores de las emisiones debidas de calefacción debido a que el sistema de iluminación permanece menos tiempo encendido, y por tanto, el calor que generan las luminarias es menor y se debe compensar con el consumo en calefacción. Este fenómeno a la inversa se observa en el sistema de refrigeración, que disminuye su consumo debido a que el menor calor generado por los equipos de iluminación conlleva un menor gasto en refrigeración.

También, observamos en los resultados, como las emisiones debidas a iluminación han disminuido en gran medida como se suponía debido al menor tiempo de funcionamiento.

El principal problema es que la disminución de las emisiones y consumo en la iluminación, implica un aumento en los mismos parámetros relativos a la calefacción. Esto se debe, a que al intentar disminuir el consumo de energía en iluminación, el calor que irradian los elementos de iluminación disminuye conforme menos tiempo estén en funcionamiento, y por tanto, el consumo de calefacción debe subir para cubrir este calor que emitían estos elementos. Así, debemos realizar múltiples simulaciones para obtener un difícil compromiso entre iluminación y calefacción de tal manera que mejoremos la eficiencia de nuestro edificio.

4.- Utilización apropiada de las lamas y modificación de las propiedades de las zonas acristaladas (Simulación 5)

La idea de esta simulación, es la de juntar los dos primeras mejoras propuestas para obtener un edificio más eficiente térmicamente. Para ello, se han utilizado los horarios de las lamas de protección de las ventanas utilizados en la simulación 2 y las propiedades de las zonas acristaladas utilizadas en la simulación 3.

El resultado de esta simulación es una calificación energética C, mejorando la obtenida para la primera simulación, y un indicador total de emisiones de 0,97 por los 1,03 de la primera simulación.

En lo referido a los indicadores de eficiencia energética, se ha conseguido disminuir notablemente el indicador de calefacción pasando de 1,97 a 1,57, además de, evitar la penalización en la refrigeración; ya que, a diferencia de las anteriores simulaciones, se ha conseguido mantener el indicador de refrigeración estable en 0,87. Con ello, se ha conseguido un indicador de climatización de 1,11 por el 1,20 de la simulación inicial.

En lo que respecta al indicador de iluminación se mantiene igual debido a que en esta simulación no hemos modificado los horarios pertenecientes a los sistemas de iluminación de los distintos espacios del edificio. Se intentó su modificación como en la simulación anterior, pero el indicador energético total aumentaba debido a que la disminución en las emisiones de iluminación nos penalizaba en mayor medida en la calefacción.

En el análisis de las emisiones mensuales, se aprecia la disminución de las emisiones por calefacción en los meses más fríos del año, así como, la disminución de las emisiones por

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

refrigeración en los meses más cálidos; lo cual, nos demuestra que las mejoras propuestas consiguen un edificio con mayor eficiencia térmica.

En definitiva, la correcta utilización de las lamas ya existentes en el edificio unida a unas zonas acristaladas con las propiedades adecuadas, supondrían un ahorro de 367,331 MWh de energía primaria, y por tanto, una disminución de emisiones de CO₂ de 91585,8 kg con respecto a la primera simulación.

5.5.- Limitaciones del programa

El programa CALENER, al igual que el LIDER, posee diversas limitaciones a la hora de trabajar con él. Algunas de las limitaciones encontradas son las siguientes:

- La primera limitación que nos hemos encontrado a la hora de realizar la simulación, ha sido la exportación del edificio desde el LIDER. La mala compatibilidad en el traspaso de los datos de LIDER a CALENER-GT, obliga a revisar y modificar los parámetros introducidos anteriormente debido a la mala exportación del archivo que altera una serie de parámetros.
- Elevada complejidad al introducir la geometría del edificio directamente en CALENER-GT. En nuestro caso, se optó por introducirlo exportándolo desde el LIDER a pesar del mal transporte de datos entre ambos programas.
- Exige elevada cantidad de datos para la introducción de la instalación de climatización de edificio. Por tanto, la búsqueda de los datos de los equipos debe realizarse en diversos catálogos de los fabricantes lo que ralentiza el proceso.
- Los resultados proporcionados por el programa en relación con el consumo energético no son reales, si no que son nominales y referidos a unas condiciones estándar.
- Los resultados obtenidos para la demanda energética de climatización en LIDER y CALENER son distintos debido a que utilizan distintos motores de cálculo. Por lo que debería llegarse a un consenso para la validez de los resultados, ya que la demanda calculada en LIDER es la que determina el cumplimiento de la normativa y la calculada en CALENER se utiliza para el consumo energético.

5.6.- Problemas encontrados

Por otro lado, en la introducción de los parámetros del edificio y su posterior simulación se han encontrado una serie de problemas. La mayor parte de los problemas surgidos durante la implementación del edificio en el programa, aparecieron en la parte destinada a la definición de la instalación de climatización. Así, los problemas surgidos son los que se muestran a continuación:

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- El primer problema encontrado, se corresponde con la primera limitación del propio programa. Se trata de la importación de datos desde el LIDER, dado que debemos revisar y modificar algunos de los parámetros introducidos previamente en el LIDER al pasarlos a CALENER, como pueden ser la localización de los cerramientos del edificio o las características de los distintos espacios que componen el edificio entre otros. Todos estos parámetros que se han tenido que modificar en el programa los encontramos detallados a lo largo de este capítulo.
- En el cerramiento exterior ‘Muro hormigón’ me surge un error que evita la posible simulación del edificio. Dicho error se debe a que dicho cerramiento es demasiado denso y no permite resolver, por tanto, para solucionarlo se toma la decisión de modificar el espesor de la capa de hormigón pasando de 0,2 metros a 0,15 metros.
- El principal problema encontrado es la gran dificultad de búsqueda de la gran cantidad de datos necesarios para introducir la totalidad de la instalación. Dicha búsqueda ha sido larga debido a las deficiencias en la documentación del proyecto de climatización del edificio y al estado de las instalaciones como son las placas de características de algunos elementos (bombas,...).
- La instalación de climatización a introducir posee dos circuitos primarios, los cuales se usan según las necesidades de calefacción o refrigeración. Por tanto, para la simulación no podíamos simular ambos circuitos dado que se comunican a los mismos circuitos secundarios y según las necesidades de edificio uno de ellos nos quedaría parado. Por tanto, se simula una de los dos, suponiendo que poseen las mismas características.
- La totalidad de la instalación de climatización es a dos tubos excepto el circuito secundario que va a los climatizadores. Por tanto, no se ha podido simular el circuito secundario de climatizadores a cuatro tubos ya que está alimentado por un circuito primario a dos tubos y el programa nos da un error. Para su solución, se ha eliminado un circuito secundario de climatizadores (IACCLIM) con su correspondiente bomba (B-1) y se ha simulado un circuito secundario de climatizadores a dos tubos.
- Debido a que varios de los espacios del edificio poseen más de un subsistema secundario para climatizar el local, se ha tenido que introducir una serie de espacios ficticios que simulen el comportamiento energético de los subsistemas.
- Dada la falta de información sobre la mínima cantidad de caudal de aire exterior utilizado en los distintos subsistemas secundarios (fan coils, climatizadores, aerotermos) se ha usado un 20% del caudal de impulsión.

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

5.7.- Conclusiones

De las variadas y múltiples simulaciones realizadas para observar el comportamiento energético del edificio y su grado de 'calidad' de eficiencia energética se han extraído las siguientes conclusiones:

- ✓ El índice de calificación energética obtenido para el edificio Agustín de Betancourt es de 1,03, que corresponde a una calificación energética D. Dicho esto, podemos decir que el edificio no es eficiente energéticamente hablando en lo que a emisiones de CO₂ se refiere.
- ✓ La energía primaria consumida por el edificio es de 6695,2 MWh al año, lo que supone unas emisiones de 1669,3 Toneladas de CO₂.
- ✓ Un uso correcto de las lamas de protección que ya existen en el edificio puede suponer un ahorro en energía primaria de 158,6 MWh anuales y, por tanto, una disminución de las emisiones de CO₂ de 39,6 toneladas. Además, esta medida no supone coste adicional ya que las lamas ya se encuentran instaladas en la mayoría de los acristalamientos del edificio y únicamente se debería realizar una adecuada utilización de ellas.
- ✓ Si se optara por tomar la medida de cambiar los acristalamientos existentes por otros con las propiedades indicadas, el ahorro en energía primaria sería de 170,6 MWh anuales y la reducción de emisiones de 42,6 toneladas de CO₂. Esta medida, produciría un mayor ahorro en lo que al gasto de energía primaria se refiere, pero, a diferencia de la anterior, si tendría coste adicional ya que se deberían adquirir los nuevos acristalamientos e instalarlos en el edificio sustituyendo los ahora presentes.
- ✓ En lo que al ajuste de los horarios de iluminación se refiere para el ahorro de energía, las conclusiones extraídas de la simulación son un poco más difusas ya que los horarios han sido introducidos sin estadísticas reales de funcionamiento. Lo que sí se puede sacar en conclusión, es que un buen ajuste de los horarios de iluminación puede traer consigo importantes ahorros energéticos como se ha visto en la simulación realizada.
- ✓ Si optamos por cambiar las zonas acristaladas del edificio por unas con mejores propiedades y además se le da un buen uso a las lamas de protección, el resultado son un ahorro de 367,3 MWh de energía primaria y una reducción de 91,6 Toneladas de CO₂. Además de estos ahorros conseguiríamos un indicador energético por debajo de la unidad (0,97) y una calificación energética C para el edificio.

6.- CONCLUSIONES GENERALES

Una vez realizados los diferentes estudios del edificio, así como el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de ellos, se han extraídos las conclusiones generales del proyecto fin de carrera realizado y se muestran con detalle a continuación:

- ✓ Se ha elaborado un estudio termográfico del edificio que ha permitido distinguir las zonas más problemáticas de la envolvente del edificio en lo que a estanqueidad térmica del mismo se refiere. Con ello, se ha concluido que las zonas acristaladas son las de mayores pérdidas energéticas en forma de calor, y que la existencia de lamas de protección juegan un importante papel en la protección de estos acristalamientos disminuyendo considerablemente las pérdidas cuando se encuentran en posición de 0°. Esto me ha permitido, aprender el uso y manejo de una cámara termográfica así como sus diversas utilidades para la detección de problemas en un edificio.
- ✓ Se ha estudiado la composición y funcionamiento de la instalación de climatización del edificio. Con ello, se ha observado la potencia consumida por las tres bombas de calor presentes en la instalación, así como los problemas surgidos en el momento del arranque que se resolverían con una mejor regulación de la instalación. Esto me ha permitido visualizar una instalación de climatización completa tanto de forma teórica como observando los distintos elementos materialmente, así como una familiarización con los diferentes componentes de la instalación in situ.
- ✓ Se ha realizado una simulación del edificio en el programa LIDER para estudiar el cumplimiento de la normativa del CTE en cuanto a limitación de demanda energética se refiere, así como la proposición de modificaciones para su cumplimiento. Con ello, se ha obtenido un edificio que no cumple la normativa, y en el que se deberían modificar los vidrios utilizados, usando unos de menor transmitancia térmica y mayor factor solar para conseguir cumplir con la normativa. Con esto, he aprendido el manejo completo del programa informático LIDER así como sus limitaciones y posibles problemas para resolver un edificio.
- ✓ Se ha simulado el edificio en el programa informático CALENER-GT para observar el comportamiento energético del edificio, así como su grado de eficiencia energética, además de proponer ajustes para mejorar su calificación energética. Se ha visto como un buen ajuste en las posiciones de las lamas de protección y la utilización de unos vidrios apropiados, conllevan un importante ahorro energético así como una gran disminución en las emisiones de CO₂ emitidas. Esto me ha permitido, aprender el manejo de esta herramienta informática así como su utilidad en la posibilidad de realizar simulaciones para mejorar la eficiencia energética de un edificio.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Unión Fenosa. **Prediagnóstico energético: Edificio Ada Byron y Edificio Torres Quevedo.** Mayo 2005.
- [2] Unidad Técnica de Construcciones (UTC) Universidad de Zaragoza. **Proyecto Instalación de climatización en edificio B, en Campus Politécnico de Zaragoza.**
- [3] Pce-ibérica. **Instrucciones de uso cámara termográfica PCE-TC 3.**
- [4] **Características y manual de la cámara termográfica PCE-TC 3.**
(<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/camara-termografica-ir4010.htm>)
- [5] Pce-ibérica. **Instrucciones de uso Medidor de potencia de una y tres fases PCE-360.**
- [6] **Características y manual del medido de potencia de una y tres fases PCE-360.**
(<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/analizador-potencia-tes-3600.htm>)
- [7] Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés, José Manuel Pinazo Ojer. **DTIE 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VYP**
- [8] **Manual LIDER v1.0.**
(<http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/ManualLIDER.pdf>)
- [9] **Código Técnico de la Edificación: Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía.**
(http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf)
- [10] **Manual de Usuario del CALENER-GT.**
(<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/CalenerGT1/manual%20de%20Usuario.pdf>)
- [11] **Manual de Referencia del CALENER-GT.**
(<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/CalenerGT1/Manual%20Referencia.pdf>)
- [12] **Manual Técnico del CALENER-GT.**
(<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/CalenerGT1/Manual%20Tecnico.pdf>)
- [13] **Real Decreto 47/2007.**
(<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Normativa/Documents/R.D.C.E.E.E.pdf>)

Auditoría y certificación energética de edificio Agustín de Betancourt de la Universidad de Zaragoza

- [14] **PFC. Estudio del proceso de calificación energética de un edificio de salida de cabinas situado en Espui (Lleida) mediante herramientas de simulación energética.** Francesc Esteve Cots. Enero 2008.
(<http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/10256/884/3/2%20MEMORIA.pdf>)

- [15] **Certificación energética del edificio de oficinas del sincrotrón situado en Cerdanyola del Vallés.**
(<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4548/1/Memoria.pdf>)

- [16] Artículo 01870. Certificación energética de edificios.
(<http://www.terra.org/articulos/art01870.html>)

- [17] **Presentación Power Point DB HE Ahorro de energía.** María Jesús Gavira Galocha. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción.
(<http://www.coaatja.com/modelos/ponenciaHE.pdf>)

- [18] CIAT. Catálogo: Grupos de producción de agua fría – CIATCOOLER serie LR.

- [19] Smedegaard. Catálogo: Bombas de rotor seco in-line. Serie T.

- [20] Ebara. Catálogo: Ebara Eline-D.

- [21] SGG. Catálogo de vidrios de control solar tipo Cool-Lite.

- [22] Isolar. Catálogo de vidrio Isolar Neutralux.