



Alumno: Diego Guijarro Martin

Optimización de la demanda energética de una industria de soplado de plástico.

Tutor: Rafael Royo Pastor

Co-tutor: Javier Biosca Taronger

Grado en Ingeniería Mecánica

Septiembre 2015



TABLA DE CONTENIDOS

Índice de figuras.....	4
Índice de gráficos.....	5
Índice de tablas.....	7
1 Consideraciones previas.....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Objeto.....	11
1.3 Antecedentes.....	11
1.4 Limitaciones.....	11
1.4.1 Limitación de la demanda energética.....	12
1.4.2 Limitación debida a condensaciones.....	12
1.5 Eficiencia energética.....	22
1.6 Configuración del modelo en Trnsys.....	23
1.6.1 Trnsys Simulation Studio.....	24
2 Modelo estudiado.....	27
2.1 Localización.....	27
2.2 Elementos constructivos.....	28
2.3 Zonificación.....	30
2.4 Condiciones interiores de diseño.....	33
2.5 Ganancias internas.....	33
2.6 Equipos preexistentes.....	34
3 Condiciones meteorológicas y energéticas.....	36
3.1 Condiciones exteriores.....	36
3.1.1 Temperatura y humedad relativa.....	37
3.1.2 Radiación solar.....	39
3.2 Condiciones interiores.....	41
3.2.1 Temperatura.....	42
3.2.2 Humedad relativa.....	44
3.2.3 Radiación solar absorbida por los cerramientos exteriores.....	45



3.2.4	Sensibilidad del caudal de ventilación en la simulación.....	46
3.2.5	Demanda energética	48
4	Soluciones para la optimización de la demanda	51
4.1	Planteamiento y simulación de las mismas	51
4.1.1	Sustitución del vidrio de cerramientos externos.....	51
4.1.2	Aplicación de sistemas de sombreado.....	57
4.1.3	Reducción de las superficies acristaladas.....	70
4.1.4	Sistemas de ventilación	71
4.2	Evaluación de ventajas e inconvenientes de cada solución y determinación de la solución óptima	73
5	Resultados	75
5.1	Demanda optimizada de calefacción y refrigeración	75
5.2	Radiación solar recibida por los cerramientos exteriores	77
5.3	Temperaturas interiores	77
5.4	Ahorro energético.....	78
5.5	Ahorro económico	79
6	Conclusiones.....	82
7	Bibliografía	83
8	Anexos.....	84
8.1	Anexo 1	84
8.2	Anexo 2	85
8.3	Anexo 3	86
8.4	Anexo 4	87
9	Presupuesto del estudio.....	88



Índice de figuras

Figura 1. Diagrama psicrométrico vapor agua – aire a 1 atm.....	14
Figura 2. Representación gráfica del control diferencial de temperatura	25
Figura 3. Fachadas exteriores del edificio de estudio	27
Figura 4. Sistema de climatización mixto mediante ventilación por plenum.	34
Figura 5. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior expresadas en m^2K/W	54
Figura 6. Factor de sombra para voladizos.....	58
Figura 7. Factores de sombra para toldos según el DA-DB-HE1	61
Figura 8. Factores de sombra para lamas horizontales y verticales según el DA-DB-HE1	65



Índice de gráficos

Gráfico 1. Temperatura y humedad relativa exterior en la segunda semana de Enero .	38
Gráfico 2. Temperatura y humedad relativa exterior en la tercera semana de julio	39
Gráfico 3. Radiación solar total en la segunda semana de Enero	40
Gráfico 4. Radiación solar total en la tercera semana de Julio	41
Gráfico 5. Comparativa temperatura interior de la oficina con las condiciones exteriores en Enero.....	42
Gráfico 6. Comparativa de la temperatura en la oficina con las condiciones exteriores en Julio.....	43
Gráfico 7. Comparativa de la humedad relativa de la oficina con las condiciones exteriores en la segunda semana de enero.	44
Gráfico 8. Comparativa de la humedad relativa de la oficina para la tercera semana de julio.	45
Gráfico 9. Radiación global total incidente por los cerramientos exteriores durante la segunda semana de enero y la tercera semana de julio.....	46
Gráfico 10. Variación de la demanda de refrigeración en función del caudal de ventilación	47
Gráfico 11. Demandas de refrigeración y calefacción mensuales totales para cada mes del año.....	49
Gráfico 12. Radiación solar transmitida al interior de la “oficina” el 14 de julio para cada vidrio.....	56
Gráfico 13. Irradiancia solar total recibida para la segunda semana de Enero.	59
Gráfico 14. Irradiancia solar total recibida para la tercera semana de Julio.....	60
Gráfico 15. Radiación total directa recibida en toda la orientación Sur-Este el 20 de julio.	63
Gráfico 16. Radiación total directa recibida en toda la orientación Sur el 20 de julio. .	63
Gráfico 17. Radiación global en el Sur-Oeste el 20 de julio.....	67
Gráfico 18. Radiación global en el Sur-Este el 20 de julio.	68
Gráfico 19. Radiación global recibida en el Sur el 20 de julio.	69
Gráfico 20. Evolución de la temperatura interior de la oficina según el tipo de ventilación nocturna	72
Gráfico 21. Comparación de la demanda total de las zonas climatizadas	76



Gráfico 22. Comparación de la demanda de refrigeración mensual después de la optimización. 77

Gráfico 23. Resultado de la evolución de la temperatura interior para la tercera semana de julio. 78



Índice tablas

Tabla 1. Presiones de vapor para cada capa del cerramiento analizado	22
Tabla 2. Composición del muro exterior perteneciente a la zona de producción	28
Tabla 3. Composición del muro comprendido entre la zona de producción y las oficinas	29
Tabla 4. Composición del muro interior perteneciente a las oficinas.....	29
Tabla 5. Composición del cerramiento acristalado situado en el muro de fachada.....	29
Tabla 6. Composición del forjado en contacto con otra planta	30
Tabla 7. Características de las zonas a estudiar	32
Tabla 8. Ubicación y superficie de los huecos con cerramientos acristalados	32
Tabla 9. Condiciones interiores de diseño	33
Tabla 10. Ganancias internas según cada zona	34
Tabla 11. Sensibilidad del caudal de ventilación en la demanda de refrigeración	47
Tabla 12. Demanda de calefacción y refrigeración total mensual inicial.....	48
Tabla 13. Demandas de refrigeración y calefacción para cada zona climatizada	49
Tabla 14. Características principales de los vidrios estudiados	55
Tabla 15. Demandas energéticas según cada vidrio simulado.....	56
Tabla 16. Estudio de la longitud del voladizo	59
Tabla 17. Valores definidos para la creación de la ecuación de la recta para el toldo solar	62
Tabla 18. Demandas energéticas aplicando la solución del toldo solar	64
Tabla 19. Valores definidos para la creación de la recta de la lama vertical Sur-Oeste	65
Tabla 20. Valores definidos para la creación de la recta de la lama vertical Sur-Oeste	66
Tabla 21. Valores definidos para la creación de la recta de la lama horizontal.....	66
Tabla 22. Demandas totales del caso original y con lamas.	69
Tabla 23. Comparativa de las soluciones alternativas para sistemas de sombreado	70
Tabla 24. Muro composición 1 utilizada en sustitución del cerramiento acristalado ...	70
Tabla 25. Demandas totales según la superficie de los cerramientos acristalados	71
Tabla 26. Demandas energéticas para cada tipo de ventilación nocturna simulada. ...	73
Tabla 27. Resultado de la optimización de las demandas energéticas para cada zona climatizada.....	75



Tabla 28. Resultados de la optimización de las demandas energéticas para cada mes del año.....	76
Tabla 29. Porcentaje del ahorro mensual y anual en la refrigeración	79
Tabla 30. Coste eléctrico mensual.....	80
Tabla 31. Coste económico mensual.....	81
Tabla 32. Transmitancias límite para la zona climática B3.....	84
Tabla 33. Condiciones exteriores para distintas localidades según el apéndice C del DA-DB-HE-2.....	85



1 Consideraciones previas

1.1 Introducción

Hasta la fecha la principal preocupación a la hora de diseñar una instalación de climatización era la fijación de los límites superiores e inferiores a lo que respecta la calefacción y la refrigeración respectivamente, es por ello por lo que aparecieron programas para el cálculo de las cargas térmica. El principal problema de este tipo de dimensionamientos es que no se atiende al funcionamiento de los equipos para cargas parciales, solo para condiciones límites. Debido a esto no se suele tener en cuenta la vida útil de las instalaciones.

Entonces, ¿cómo podemos conocer la relación entre el coste de un mejor diseño de un edificio o una instalación con el ahorro efectivo que se produce durante su vida útil? La simulación de la repercusión esperada anual de una acción es la respuesta.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), la simulación térmica de edificios trata de estimar el comportamiento térmico de las zonas que conforman el edificio y las prestaciones que están dando las máquinas en las condiciones de trabajo puntuales en cada instante de tiempo, con el fin de integrarlas durante el tiempo simulado.

Los objetivos que se persiguen son la estimación de consumos de energía, análisis de estrategias de control, evolución de la temperatura y humedad relativa en las diferentes zonas que permitan un ahorro energético con la consiguiente reducción de emisiones de CO₂.

Un **correcto diseño** en una edificación supone:

- Ahorro energético de refrigeración y calefacción, ya que se reducen las pérdidas o ganancias producida en los cerramientos.
- Mejora considerable del confort térmico debido a la reducción de la diferencia de temperatura respecto a la temperatura exterior.
- Eliminación de fenómenos como condensaciones y humedades.
- Mantener el calor obtenido para los meses de otoño e invierno.
- Reducción de la entrada excesiva de calor y radiación en los meses cálidos.

Según Código Técnico de Edificación, *“el objetivo del Ahorro de energía consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo...”*¹.

¹ Artículo 15 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación.



Los principales conceptos térmicos que trataremos a lo largo de todo el desarrollo del presente proyecto son los siguientes:

- Conductividad térmica (λ): propiedad física de los materiales que mide la facilidad del paso de calor a través de ellos en un espesor de un metro. Es utilizado para la selección de aislantes. Su unidad de medida es (W/mkg)
- Resistencia térmica (R): propiedad física que mide la oposición de un material al paso de calor a través de él. Es frecuentemente utilizado para comparar aislantes con diferente espesor y conductividad. Su unidad de medida es (m^2K/W)
- Transmitancia térmica (U): propiedad física de los materiales que mide la cantidad de calor que atraviesa un elemento. Es una propiedad utilizada para el cálculo de las pérdidas o ganancias de los cerramientos para el análisis de la envolvente térmica². Su unidad de medida es (W/m^2K)
- Inercia térmica: propiedad física que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe. Este valor depende de la masa térmica, el calor específico y el coeficiente de conductividad térmica.
- Calor específico: magnitud física que representa la cantidad de calor que hay que suministrarle a una unidad de masa para elevar su temperatura en una unidad.
- Masa térmica: capacidad potencial de almacenamiento de calor en un elemento o sistema.

Para entender la importancia de los materiales aislantes, comparativamente, 9 cm de fibra de vidrio nos proporcionan el mismo aislamiento que 3,6 m de hormigón.

Debido a la investigación y la búsqueda de nuevos materiales y composiciones para los cerramientos, en la actualidad se empiezan a emplear gases diferentes del aire para el relleno de los aslamientos.

El correcto aislamiento para la mejora de la envolvente térmica es imprescindible, como también lo es el apropiado uso de elementos de sombreado, como son persianas, toldos, lamas y voladizos. Dichos elementos evitan la entrada de radiación solar directa. Se deben instalar siempre en la zona exterior para evitar la acumulación de calor en el interior debido a dicha radiación.

² Envlovente térmica: conjunto de cerramientos que separa el ambiente exterior del interior.



1.2 Objeto

El objeto del presente proyecto es el estudio térmico de la industria real Plastisax, situada en el Polígono Industrial El Castillo C/París Parcela W Apdo.81 03630 Sax, Alicante. Mediante el estudio térmico enfocado a las oficinas climatizadas de dicha industria calcularemos la necesidad energética para mantener las condiciones de confort. Para ello utilizaremos un software informático llamado Trnsys para la simulación de todas las zonas de nuestro edificio atendiendo a todas las superficies, elementos, personas y equipos que puedan introducir una carga térmica. Una vez realizada la simulación procederemos a la mejora de la envolvente térmica para reducir la demanda energética y mejorar las condiciones de confort de los usuarios de la industria mediante técnicas de sombreado, aislamiento y ventilación. A partir de las soluciones alternativas analizadas, elegiremos la óptima y observaremos los cambios en los parámetros principales tales como la demanda energética en calefacción y refrigeración, la radiación solar recibida por los cerramientos exteriores y los ahorros energéticos producidos al adoptar dichas medidas.

Para acabar el proyecto realizaremos una estimación del ahorro económico que supondría emplear dichas mejoras mediante el cálculo del consumo eléctrico a lo largo del año y atendiendo al tipo de tarifa eléctrica que dispone la industria actualmente.

1.3 Antecedentes

Los principales motivos que han llevado a la realización de este proyecto han sido la necesidad de la mejora de confort en las zonas climatizadas de la industria analizada, principalmente en las zonas orientadas al sur, las cuales disponen de cerramientos acristalados que alcanzan altas temperaturas en los meses más cálidos debido a la radiación solar y a la inexistencia de elementos bloqueadores de dicha radiación. Esta mejora del confort será una consecuencia directa de la reducción de la demanda energética necesaria para mantener las condiciones de confort en el interior de las zonas climatizadas.

1.4 Limitaciones

El Código Técnico especifica unos límites para los valores de las transmitancias de los cerramientos y un factor que representa la creación de condensaciones en nuestros cerramientos según el uso del edificio que se debe estudiar.



1.4.1 Limitación de la demanda energética

Según el Código Técnico *“los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar...”*³.

El Código Técnico de Edificación, en su DB-HE recoge un método para el cálculo de la demanda energética de edificios y para su posterior limitación según uso y zona climática. En nuestro caso disponemos de un software para la simulación de la demanda energética.

Al tratarse de un edificio industrial queda excluido de cualquier limitación. No obstante tendremos en cuenta los valores de las transmitancias térmicas límite y factores solares límites en huecos pertenecientes a nuestra zona climática para el apartado de mejoras en la envolvente térmica de nuestro edificio.

Los **valores de las transmitancias límites** para cerramientos se encuentran en el apéndice D.2.8 del DB-HE, incluidos en el Anexo 1.

El cálculo de las transmitancias térmicas se detallará en el apartado 4.1.1

1.4.2 Limitación debida a condensaciones

Como anteriormente hemos mencionado nuestra estructura de estudio es un edificio industrial, y como en el caso anterior, también está excluido de limitaciones por condensaciones. Aun así calcularemos dicho límite para un tipo de muro específico y para un momento del año.

En primer lugar debemos conocer el fenómeno de la condensación y los problemas estructurales y de confort que puede ocasionar si no se tiene debidamente en cuenta en el aislamiento de todos los cerramientos.

La **condensación** del agua es el fenómeno natural por el cual si disminuye la temperatura del aire, aún sin variar el contenido de vapor de agua en una masa de aire determinada, hasta una temperatura conocida como temperatura de rocío, se produce el cambio de

³ Artículo 15.1 del DB-HE-1



fase de estado gaseoso(vapor de agua) a estado líquido. Este fenómeno depende, entre otros factores de la presión y la temperatura.

La temperatura de rocío es la temperatura en la cual el vapor de agua contenido en una masa de aire se encuentra saturado, es decir tiene un 100% de humedad relativa, siendo la humedad relativa la proporción de vapor de agua necesaria para llegar al punto de saturación.

La fórmula que relaciona la temperatura de rocío con la humedad relativa y la temperatura es la siguiente:

$$T_{rocio} = \sqrt[8]{\frac{H}{100} \cdot (110 + T) - 110} \quad (1)$$

donde :

Trocio: temperatura de rocío (°C)

H: humedad relativa (%)

T: temperatura (°C)

Respecto a la presión, también puede aparecer la condensación debido al aumento de la cantidad de vapor de agua de una masa determinada de aire, sin modificar significativamente la temperatura del aire, generando un aumento de la presión y produciéndose la condensación si alcanzamos la presión de vapor de saturación.

La presión de vapor de saturación es la presión de la fase gaseosa sobre la fase líquida para una temperatura determinada, en la cual estamos en condiciones de equilibrio dinámico, es decir, el proceso de condensación y evaporación ocurren al mismo tiempo. En estas condiciones las fases se denominan líquido saturado y vapor saturado.

Para el cálculo y estudio de las propiedades termodinámicas de la mezcla vapor de agua-aire, existen unos diagramas denominados diagramas psicométricos o cartas de humedad. Son comúnmente usados los diagramas a 1 atmósfera para los estudios de humidificación y procesos de acondicionamiento del aire. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un diagrama psicométrico de vapor de agua-aire a 1 atm.

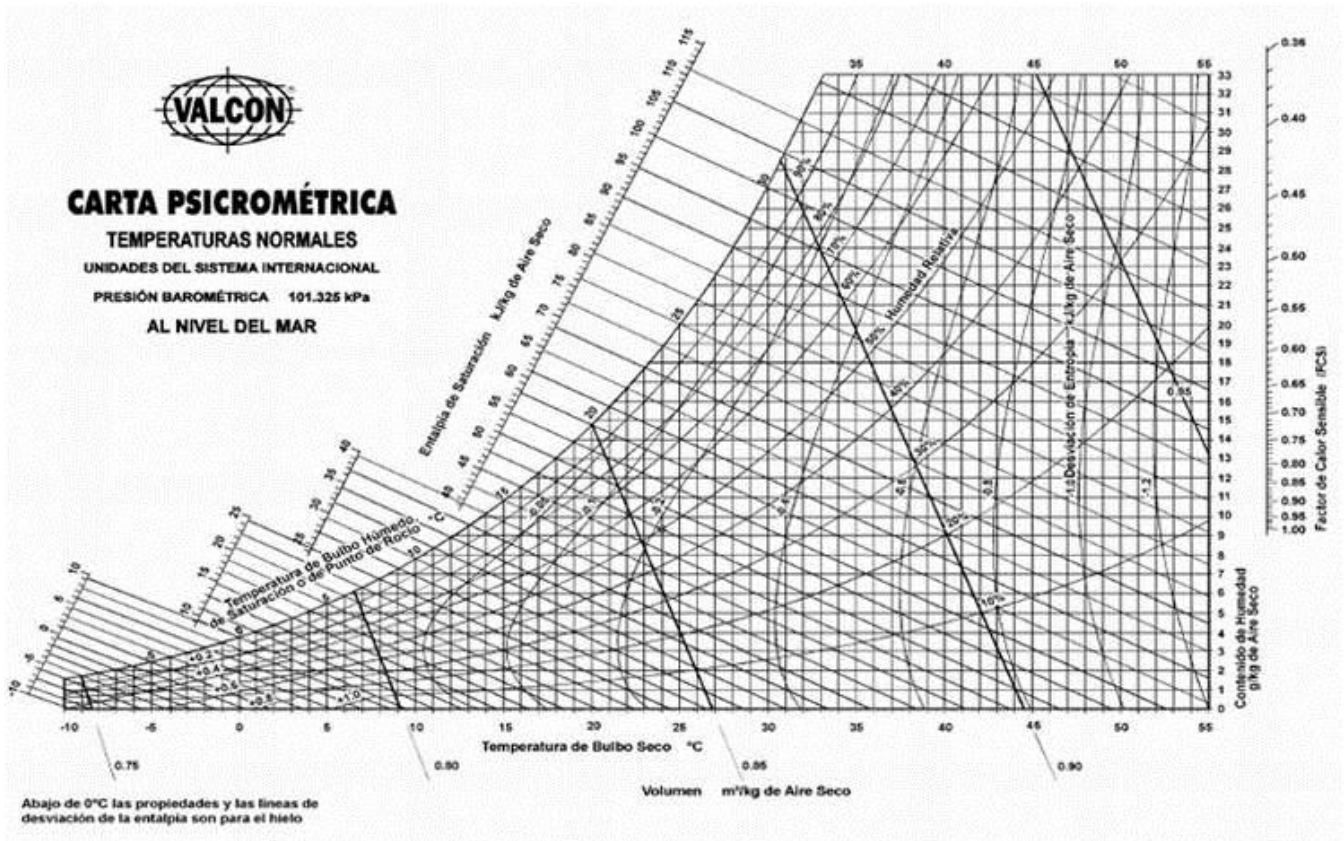


Figura 1. Diagrama psicrométrico vapor agua – aire a 1 atm.

Como se puede observar en la anterior ilustración, el eje de las abscisas muestra la temperatura del bulbo seco y el eje de las ordenadas representa la humedad absoluta. Además están representadas las líneas correspondientes al volumen específico y a la entalpía del aire húmedo.

Por ejemplo para unas condiciones de temperatura de 20°C y un 50% de humedad relativa (a 1atm) la temperatura de rocío es igual a $9,2^{\circ}\text{C}$, es decir, si la temperatura de nuestra zona en esas condiciones o de la superficie en contacto con el aire desciende hasta alcanzar dicha temperatura se producirá la condensación del vapor del agua que se encuentra en el aire del ambiente.

Si extrapolamos este fenómeno a la construcción nos podemos encontrar con los siguientes **problemas**:

- Proliferación de organismos vegetales
- Oxidación y corrosión de los elementos metálicos en contacto
- Pudrición de los elementos estructurales de madera
- Disminución de la capacidad aislante de los cerramientos
- Efecto negativo sobre el confort de los usuarios

Debido a que la presión de saturación aumenta con la temperatura, la humedad relativa disminuye de igual manera. Por lo tanto a medida que el aire este a mayor temperatura será más difícil que se produzca la saturación del vapor de agua.

A la hora de la colocación del aislante en nuestros cerramientos, tenemos que tener en cuenta que los materiales que se utilizan como aislantes tienen una baja resistencia al paso del vapor de agua, por lo que en algunas ocasiones es necesario la utilización de barreras de vapor en el lado caliente del aislamiento.

Debido a la problemática de las condensaciones, el Código técnico de Edificación recoge unos límites para evitar las condensaciones en los cerramientos en el DB-HE-2, "Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos".

El CTE propone el siguiente método para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales para cerramientos, pero no impide el uso de otros métodos que permitan llevar a cabo dichos cálculos con la suficiente solvencia técnica.

- **Condensaciones superficiales**

La comprobación de las condensaciones superficiales se basa en la comparación del factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$ para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de la localidad, que en nuestro caso corresponde con la localidad de Sax, Alicante.

Para el muro cuya composición se describe en el apartado 4.1.3, el cual será empleado en una de las soluciones alternativas, comprobaremos que el factor de temperatura de la superficie interior es superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo.

Para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior mínimo utilizaremos la siguiente expresión:

$$f_{Rsi,min} = \frac{T_{si,min} - T_e}{20 - T_e} \quad (2)$$

$$f_{Rsi,min} = \frac{14,09 - 7,6}{20 - 7,6} = 0,523$$

donde:

$f_{Rsi,min}$: factor de temperatura de la superficie interior mínimo
 $T_{si,min}$: temperatura superficial interior mínima obtenida mediante la ecuación 3
 T_e : temperatura exterior de la localidad en el mes de enero calculada a partir de la tabla C.1 incluida en el Anexo 2. Dicha temperatura deberá ser minorada 1 °C por cada 100msnm de diferencia con la capital de provincia [°C]

$$T_{si,min} = \frac{273,3 \cdot \log_e\left(\frac{P_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{P_{sat}}{610,5}\right)} \quad (3)$$

$$T_{si,min} = \frac{273,3 \cdot \log_e\left(\frac{1606,69}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{1606,69}{610,5}\right)} = 14,09 \text{ °C}$$

donde:

P_{sat} : presión de saturación máxima aceptable en la superficie obtenida mediante la ecuación 4 [Pa]

$$P_{sat} = \frac{P_i}{0,8} = \frac{H_{ri} \cdot 2337}{0,8} \quad (4)$$

$$P_{sat} = \frac{P_i}{0,8} = \frac{0,55 \cdot 2337}{0,8} = 1606,69 \text{ Pa}$$

donde:

P_i : presión del vapor interior [Pa]

H_{ri} : humedad relativa interior definida [tanto por 1]

Respecto a las **condiciones exteriores** de la localidad de Sax, han sido calculadas a partir de los datos climatológicos de la capital de provincia Valencia mediante la tabla C.1 del apéndice C del DA-DB-HE-2 incluida en el Anexo 2.

La temperatura de la localidad se debe minorar 1°C por cada 100msnm (metros sobre el nivel del mar) con respecto a la capital de provincia. En nuestro caso, ya que Sax se encuentra a 472msnm y Alicante a 0 msnm, deberemos minorar 4°C la temperatura de nuestra localidad.



A continuación fijaremos las **condiciones interiores**:

- Temperatura interior= 20°C para el mes de Enero (como indica el CTE)
- Humedad relativa= 55% (Clase de higrometría 2, oficinas generales)

El cerramiento en el cual vamos a realizar la comprobación de las condensaciones es el muro exterior el cual será utilizado en una de las mejoras. Su composición se especifica en el apartado 4.1.3, cuya transmitancia térmica es igual a 0,44.

Para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior utilizaremos la siguiente expresión:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25 \quad (5)$$

donde:

f_{Rsi} : factor de temperatura de la superficie interior
 U : transmitancia térmica del cerramiento [W/m^2K]

Por lo tanto se cumple,

$$f_{Rsi} = 1 - 0,44 \cdot 0,25 = 0,89;$$

$$0,89 > 0,523;$$

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

Quedando comprobado que no se producirán condensaciones en la superficie interior de nuestro cerramiento para nuestras condiciones.

Debido a la variación de las condiciones climatológicas e interiores este método no resulta muy efectivo al comprobarlo solo para unas condiciones determinadas.

Mediante la simulación en Trnsys comprobaremos que no se produzca en ningún momento del año ningún tipo de condensación superficial en nuestros cerramientos.

- **Condensaciones intersticiales**

El procedimiento descrito en el Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de Energía(DA DB HE-2) del CTE para la comprobación de las condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes

capas para las mismas condiciones interiores y exteriores que para el caso de las condensaciones superficiales anteriormente comprobadas.

Para evitar la aparición de este tipo de condensaciones se comprueba que la presión de vapor en la superficie de cada capa es inferior a la presión de vapor de saturación.

Para el cerramiento objeto calcularemos:

- Distribución de temperaturas
- Distribución de presiones de vapor de saturación para las temperaturas calculadas
- Distribución de presiones de vapor

Distribución de temperaturas

Para el cálculo de la distribución de la temperatura en el interior necesitamos conocer primeramente la temperatura superficial exterior e interior, y a partir de ellas calcularemos la temperatura en cada capa del cerramiento.

En la siguiente ecuación podemos observar cómo se calcula la temperatura superficial exterior.

$$T_{se} = T_e + \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (T_i - T_e) \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$T_{se} = 7,6 + \frac{0,04}{\frac{1}{0,44}} \cdot (20 - 7,6) = 7,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

donde:

T_{se} : temperatura superficial exterior [$^\circ\text{C}$].

T_e : temperatura exterior [$^\circ\text{C}$].

R_{se} : resistencia térmica superficial exterior en función de la posición del elemento en el edificio según la figura 9 obtenida del CTE expresada en [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R_T : resistencia térmica total del elemento constructivo [$\text{m}^2\text{K/W}$].

T_i : temperatura interior [$^\circ\text{C}$].

El siguiente paso es calcular la temperatura de las capas de nuestro cerramiento. Para ello utilizaremos la siguiente ecuación.

$$T_1 = T_{se} + \frac{R_1}{R_T} \cdot (T_i - T_e) \quad (7)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{R_2}{R_T} \cdot (T_i - T_e)$$

$$T_n = T_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} \cdot (T_i - T_e)$$

Por lo tanto:

$$T_1 = 10,57 + \frac{0,11}{1/0,44} \cdot (20 - 10,4) = 8,42^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 11,03 + \frac{0,019}{1/0,44} \cdot (20 - 10,4) = 8,52^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 11,11 + \frac{1,935}{1/0,44} \cdot (20 - 10,4) = 19,08^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 19,29 + \frac{0,026}{1/0,44} \cdot (20 - 10,4) = 19,22^\circ\text{C}$$

donde:

T_{se} : temperatura superficial exterior [$^\circ\text{C}$].

$T_1 \dots T_{n-1}$: temperatura en cada capa [$^\circ\text{C}$].

$R_1 \dots R_n$: resistencia térmica en cada capa [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Para la temperatura superficial interior:

$$T_{si} = T_n + \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (T_i - T_e) \quad (8)$$

Por lo tanto:

$$T_{si} = 19,22 + \frac{0,13}{1/0,44} \cdot (20 - 7,6) = 19,93^\circ\text{C}$$

donde:

T_{si} : temperatura superficial interior [$^\circ\text{C}$].

T_n : temperatura en la capa n [$^\circ\text{C}$]



R_{si} : resistencia térmica superficial correspondiente al aire interior en función de la posición del elemento en el edificio según la figura 9 obtenida del CTE expresada en $[m^2K/W]$.

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

Distribución de presiones de vapor de saturación

Para el cálculo de la presión de vapor de saturación en función de la temperatura anteriormente calculada para cada capa de nuestro cerramiento utilizaremos la siguiente ecuación.

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{12,269 \cdot T}{237,3+T}} \quad (9)$$

$$P_{sat1} = 610,5 \cdot e^{\frac{12,269 \cdot 8,42}{237,3+8,42}} = 1103,14 \text{ Pa}$$

$$P_{sat2} = 610,5 \cdot e^{\frac{12,269 \cdot 8,52}{237,3+8,52}} = 1110,93 \text{ Pa}$$

$$P_{sat3} = 610,5 \cdot e^{\frac{12,269 \cdot 19,08}{237,3+19,08}} = 2207,06 \text{ Pa}$$

$$P_{sat4} = 610,5 \cdot e^{\frac{12,269 \cdot 19,22}{237,3+19,22}} = 2226,65 \text{ Pa}$$

donde:

P_{sat} : presión de vapor de saturación [Pa].

$P_{sat1} \dots P_{sat2}$: presión de vapor de saturación en cada capa [Pa].

T : temperatura correspondiente $[^\circ C]$.

Distribución de presiones de vapor

Por último calcularemos la presión de vapor para cada capa para proceder a compararla con la presión de vapor de saturación.

Para el cálculo de la presión en cada capa utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_1 = P_e + \frac{S_{d1}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e) \quad (10)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{S_{d2}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

$$P_n = P_{n-1} + \frac{S_{d(n)}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

Por lo tanto:

$$P_1 = 1029,28 + \frac{1,15}{1,45} \cdot (1285,32 - 1926,54) = 1324,25 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 1324,25 + \frac{0,15}{1,45} \cdot (1285,32 - 1926,54) = 1304,94 \text{ Pa}$$

$$P_3 = 1304,94 + \frac{0,0024}{1,45} \cdot (1285,32 - 1926,54) = 1304,63 \text{ Pa}$$

$$P_4 = 1304,63 + \frac{0,15}{1,45} \cdot (1285,32 - 1926,54) = 1285,32 \text{ Pa}$$

donde:

P_i : presión de vapor del aire interior calculada mediante la siguiente expresión:

$$P_i = H_{r,int} \cdot P_{sat}(T_{int}) \quad (11)$$

donde:

P_i : presión de vapor interior [Pa].

$H_{r,int}$: humedad relativa interior definida como condición interior [tanto por uno].

$P_{sat}(T_{int})$: presión de vapor de saturación correspondiente a la temperatura interior calculada mediante la ecuación 9.

P_e : presión de vapor del aire exterior [Pa], calculada del mismo modo que la presión de vapor del aire interior, pero respecto a la temperatura y humedad exterior correspondiente al mes de enero obtenida a partir del Anexo 2.

$P_1 \dots P_n$: presión de vapor en cada capa.

$S_{d1} \dots S_{d(n)}$: espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión del vapor de agua, obtenido mediante la siguiente ecuación.

$$S_{dn} = e_n \cdot \mu_n \quad (12)$$

donde:

μ_n : factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de cada capa, obtenidos de la base de datos de materiales del CTE.

e_n : espesor de la capa [m].

En la siguiente tabla agruparemos los resultados para analizar las diferencias.

Capa	Presión de vapor [Pa]	Presión de vapor de saturación [Pa]
1	1418,83	1103,14
2	1352,61	1110,93
3	1351,55	2207,06
4	1285,32	2226,65

Tabla 1. Presiones de vapor para cada capa del cerramiento analizado

Mediante la anterior tabla observamos como en la capa número uno y dos, es decir, en las capas más externas se producirían condensaciones, ya que la presión de vapor es superior a la presión de vapor de saturación.

Por lo tanto debemos colocar una barrera de vapor entre dichas capas. Existe una gran variedad de materiales que ofrecen una gran resistencia al paso de vapor de agua, como por ejemplo el polietileno o el papel de aluminio.

1.5 Eficiencia energética

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) establece que las instalaciones deben diseñarse y calcularse de manera que se reduzca el consumo de energía y por lo tanto las emisiones de CO₂.

Existen una gran variedad de soluciones en materia de eficiencia energética, aunque no son exigidas por el reglamento.

Las más importantes son:

Enfriamiento gratuito por aire exterior y ventilación nocturna

Para instalaciones con una potencia inferior a 70kW el reglamento no exige un enfriamiento gratuito, pero si la unidad de impulsión y tratamiento del aire ya está instalada, puede efectuarse el control del aire.

La ventilación del edificio durante periodos de tiempo nocturno donde las condiciones son favorables puede suponer un ahorro importante en la refrigeración.

La ventilación nocturna será estudiada como medida para optimizar la demanda de refrigeración.

Control de temperatura limitado

El sistema de control de la temperatura debe evitar que se superen temperaturas de 22°C en invierno y que descendan de 24°C en verano. El RD 1826/2009 añadió un apartado por el cual obligaba a mantener la temperatura de los edificios de alta ocupación a 26°C en verano y a 21 en invierno.



El control de la temperatura en nuestro edificio ha sido fijado para que la temperatura no supere los 20°C en invierno y para que no descienda de 25°C en verano.

Limitación en la energía consumida por las bombas

A la hora del dimensionamiento de las tuberías para el circuito hidráulico para vencer las pérdidas introducidas por accesorios, fancoils y la propia enfriadora, se aconseja seleccionar el diámetro de las tuberías apropiadamente para limitar las pérdidas de carga entre 20 y 40 mm c.a por metro de tubería.

Es recomendable emplear circuitos secundarios a caudal variable con fancoils regulables mediante válvulas de dos vías y bombas con variador de frecuencia. Si se dispone de un único circuito se deberá asegurar un caudal mínimo de circulación por la enfriadora y hay que tener en cuenta que el consumo de la bomba será constante independientemente de la carga.

Limitación en la energía consumida por los ventiladores

La correcta elección de los filtros en los equipos que dispongan de ellos puede suponer una reducción de la energía eléctrica consumida a tener en cuenta. Las principales recomendaciones son:

- Instalación de filtros de mayor tamaño que el correspondiente al caudal de ventilación, ya que la velocidad al atravesarlos será menor y por lo tanto la pérdida de carga disminuirá.
- Sustitución de filtros que produzcan una pérdida de carga entre 300-350 Pa.
- Control de la ventilación mediante sondas de calidad del aire para evitar la ventilación innecesaria.
- Instalación de termostatos que detengan los ventiladores de los fancoils cuando se alcance la temperatura de consigna en nuestro edificio.

1.6 Configuración del modelo en Trnsys

Trnsys es un software informático cuyo nombre es una abreviación de Transient System Simulation Tool. Es una potente herramienta de cálculo y simulación de sistemas transitorios integrado con un módulo que proporciona datos meteorológicos. Es utilizado por ingenieros de todo el mundo siendo capaz de simular desde sistemas para calentar agua para instalaciones domésticas, incluyendo estrategias de control, introducción de elementos mecánicos como bombas, depósitos, intercambiadores...etc., hasta sistemas basados en las energías renovables, solar, eólica, fotovoltaica...



Trnsys está compuesto por dos partes. La primera es un motor que lee y procesa los datos de entrada, siendo capaz de resolver sistemas mediante métodos iterativos, representar variables mediante gráficas, posee utilidades para el cálculo de propiedades termo físicas como flujos de calor, además de operaciones matemáticas tales como derivadas, integrales y uso de matrices.

La segunda parte del Trnsys es una amplia librería de componentes, aproximadamente unos 150, incluyendo desde bombas, turbinas, intercambiadores, controladores automáticos como son los PID. También tenemos la oportunidad de introducir las características de nuestros propios componentes. La principal herramienta que hemos utilizado para la realización de este proyecto es la llamada **Trnbuild**, la cual permite definir unas zonas y elementos constructivos y la conexión entre las zonas.

La tercera parte del Trnsys nos permite conectarnos fácilmente a otros programas de cálculo para aplicaciones de post-proceso de datos o para tomar datos externos procedentes de programas como son Microsoft Excel, Matlab...

En este apartado explicaremos brevemente la configuración en el entorno de Trnsys y los principales elementos y herramientas que hemos utilizado para la simulación de nuestro edificio.

1.6.1 Trnsys Simulation Studio

Simulation Studio es un completo paquete que integra una herramienta para la simulación de modelos dinámicos, la conexión entre elementos y componentes, ecuaciones y la posibilidad de graficar los resultados de manera sencilla.

Los elementos que vamos a emplear son los siguientes:

- **Building project**

Mediante esta herramienta definiremos nuestro edificio y todos los elementos constructivos, controles de calefacción y refrigeración, ventilación, horarios y especificaciones que lo conforman.

- **Weather Data**

Para el funcionamiento de Trnsbuild necesitamos la introducción de las variables meteorológicas pertenecientes a la región en la que nos encontremos. Entre las variables requeridas para el cálculo están la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, los ángulos zenit y azimut solares, la radiación directa y difusa y el Angulo de incidencia para cada orientación. Estas variables serán proporcionadas por ésta herramienta en la cual tendremos que seleccionar la localidad

en la que se realizara la simulación, en caso que no esté incluida, como ha sido nuestro caso deberemos añadir el archivo meteorológico a la librería.

- **Controlador diferencial (Solver 0)**

Esta herramienta la utilizaremos para el control de elementos de sombreado, como cortinas interiores y para elementos que controlaran la ventilación.

Este controlador genera una función de control que puede tener un valor de 0 o 1. La función compara la diferencia entre dos temperaturas con dos valores que representarán la temperatura máxima y la temperatura mínima respectivamente. La representación matemática del controlador es la siguiente:

Si previamente estaba activado ($\gamma_1=1$):

$$f(\gamma_0) = \begin{cases} 1, & \Delta T_L \leq (T_H - T_L) \\ 0, & \Delta T_L > (T_H - T_L) \end{cases} \quad (13)$$

Si previamente estaba desactivado ($\gamma_1=0$):

$$f(\gamma_0) = \begin{cases} 1, & \Delta T_H \leq (T_H - T_L) \\ 0, & \Delta T_H > (T_H - T_L) \end{cases} \quad (14)$$

donde:

γ_0 : valor de salida de la función del controlador

γ_1 : valor de entrada al controlador

ΔT_L : temperatura del límite inferior

ΔT_H : temperatura del límite superior

T_H : temperatura superior de entrada

T_L : temperatura inferior de entrada

La representación gráfica del controlador es la siguiente:

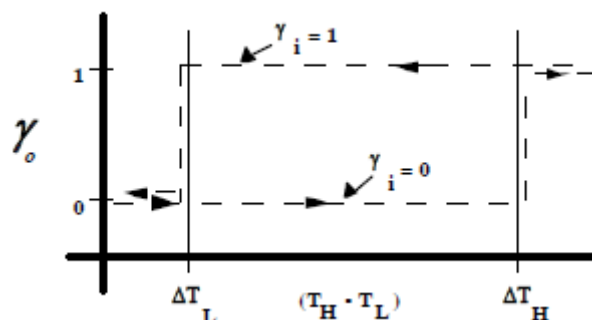


Figura 2. Representación gráfica del control diferencial de temperatura



Una vez explicado el funcionamiento del controlador mostraremos los valores que hemos tomado para la definición de la ventilación cuando estamos en modo calefacción y refrigeración.

Para el control de la **ventilación** hemos configurado dos controles.

- El primer control simula la apertura de ventanas para permitir la entrada de aire exterior cuando en invierno se eleva la temperatura interior por encima de las condiciones de confort (25°C) y en verano se activa cuando la temperatura desciende por debajo del límite de confort (20°C). Dicho control se realizará para todas las zonas que disponen de ventanas en contacto con el exterior. No supone ningún coste energético ya que la entrada de aire exterior se realizará mediante las ventanas. Si se cumplen las condiciones de temperatura anteriormente descritas, se introducirá un caudal de aire equivalente a 10 renovaciones/hora.
- El segundo control consiste en la comprobación de la temperatura exterior con la interior de la zona en cuestión. El funcionamiento de dicha ventilación se activa cuando la temperatura exterior es 3°C superior a la interior en el caso de los meses fríos y viceversa para los meses cálidos. Dicho control puede ser producido por la propia apertura de ventanas como en el caso anterior o por la instalación de un ventilador. En este último caso tendríamos que tener en cuenta el coste eléctrico de dicho ventilador.

- **Equation**

Equation es el elemento el cual hemos empleado para la introducción de cálculos matemáticos. Los cálculos que hemos tenido que introducir mediante este elemento han sido utilizados principalmente para el control de la calefacción y refrigeración en los momentos donde hay presencia de personal en nuestro edificio y para el cálculo del factor de sombra de las lamas horizontales y verticales según la posición del Sol, el cual está detallado en el apartado 1.9.2.

- **Overhang and Wingwall shading**

Trnsys dispone de dicha herramienta para la definición de las dimensiones de voladizos y retranqueos. En ella podemos configurar la distancia respecto al voladizo y la superficie de la ventana en la cual proyectará la sombra.

2 Modelo estudiado

2.1 Localización

La industria analizada es Plastisax, situada en el Polígono Industrial El Castillo C/París Parcela W Apdo.81 03630 Sax, Alicante.

Sax es un municipio de la provincia de Alicante el cual se encuentra a 472 msnm(metros sobre el nivel del mar). Sax dispone de un clima cálido con medias térmicas que oscilan entre los 7°C en enero y los 24° en julio. Respecto a las temperaturas máximas medias tenemos 12,2°C en enero y 30,5°C en julio⁴.

Debido a la semejanza de los datos climatológicos respecto la localidad de Sax y su capital Alicante, y al hecho de la existencia de una completa base de datos climatológicos para las capitales de provincia; los datos han sido introducidos desde la base de datos Energy+, los cuales para el caso de España han sido realizados por el “Grupo de Termotecnia” de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla para el Gobierno español. Dichos datos han sido generados mediante datos mensuales tomados desde distintas estaciones meteorológicas españolas.

Las temperaturas medias y humedades relativas mensuales se encuentran en el Anexo 2, obtenidas del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE).



Figura 3. Fachadas exteriores del edificio de estudio

En la anterior figura podemos observar la fachada exterior sur, sur-oeste y sur-este, las cuales suponen la entrada excesiva de radiación solar provocando la falta de confort en las superficies cercanas de dichos cerramientos.

⁴ Parámetros climatológicos obtenidos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para el periodo entre 1981-2010.

2.2 Elementos constructivos

En este apartado definiremos la composición de los principales elementos constructivos como son los muros exteriores, los tabiques que separan las zonas interiores y los huecos formados por ventanas.

Debido a que estamos analizando una nave industrial, tenemos dos zonas con distintos usos. Por lo tanto tenemos dos tipos de cerramientos interiores, uno en contacto con la zona de producción y el otro entre las zonas del interior de las oficinas.

La zona encargada de la producción no está climatizada. Gracias a una visita realizada a la industria hemos podido estimar una temperatura en la zona de producción equivalente a 25°C.

A continuación especificaremos la composición de todos los tipos de muros que forman nuestro edificio. En todas las tablas el primer material corresponde a la zona exterior.

- Cerramientos exteriores pertenecientes a la zona de producción

$$U = 3,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Espesor} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 430 \text{ kg/m}^2$$

Nº	Material	Espesor(m)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Peso (kg/m ²)
1	Hormigón en masa 2000<d<2300	0,120	0,121	430

Tabla 2. Composición del muro exterior perteneciente a la zona de producción

- Cerramiento entre la zona de producción y las oficinas

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

$$\text{Espesor} = 20,5 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 292 \text{ kg/m}^2$$

Nº	Material	Espesor(m)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Peso (kg/m ²)
1	½ pie LM métrico 40mm	0,115	0,110	249,6
2	Mortero cemento	0,015	0,019	22,9
4	MW Lana mineral	0,060	1,935	2,4

5	Enlucido yeso 1000<d<1300	0,015	0,026	17,2
---	---------------------------	-------	-------	------

Tabla 3. Composición del muro comprendido entre la zona de producción y las oficinas

- Cerramientos interiores

$$U = 2,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Espesor} = 7 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 65 \text{ kg/m}^2$$

Nº	Material	Espesor(m)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Peso (kg/m ²)
1	Placa de yeso o escayola 750<d<900	0,015	0,06	0,015
2	Tabique de LH sencillo	0,040	0,09	0,04
3	Placa de yeso o escayola 750<d<900	0,015	0,06	0,015

Tabla 4. Composición del muro interior perteneciente a las oficinas

- Cerramientos semi-transparentes en contacto con el exterior

Nº	Tipo de vidrio	Espesor(mm)	Tipo de marco	Color del vidrio
1	Vidrio simple	6	Metálico	Oscuro

Tabla 5. Composición del cerramiento acristalado situado en el muro de fachada

- Suelo en contacto con una partición

$$U = 2,76 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Espesor} = 23,5 \text{ cm}$$

$$\text{Peso} = 325 \text{ kg/m}^2$$

Nº	Material	Espesor (m)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Peso (kg/m ²)
1	Plaqueta o baldosa de gres	0,02	0,009	249,6

2	Losa de hormigón-sin capa de compresión	0,200	0,127	22,9
3	Enlucido de yeso 1000<d<1300	0,015	0,026	430

Tabla 6. Composición del forjado en contacto con otra planta

2.3 Zonificación

La industria dispone de dos plantas, los principales usos de cada una son:

- Planta baja: laboratorios.
- Primera planta: oficinas.
- Segunda planta: almacén de materiales.

La planta objeto del estudio es la primera planta, que está climatizada. Aunque el resto de plantas no estén climatizadas se tendrán en cuenta en la simulación. Tanto la planta baja como la segunda se han considerado zonas a una temperatura constante de 20°C a lo largo de todo el año debido a las condiciones actuales que se dan ellas.

En la siguiente figura podemos observar la distribución en planta de las zonas estudiadas.

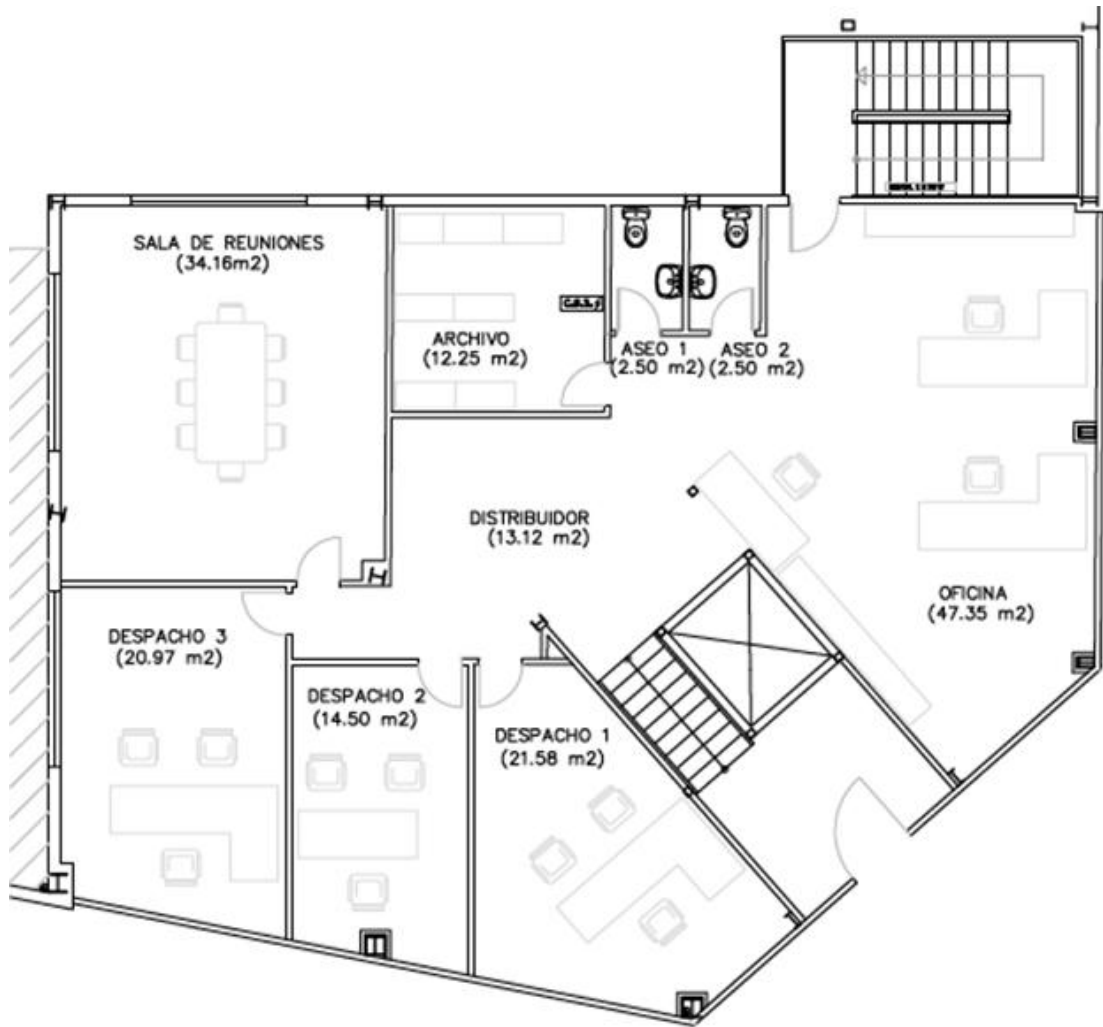


Figura 4. Distribución en planta del conjunto de zonas analizadas

Las zonas que forman nuestra planta de estudio tienen las siguientes características.

Zona	Superficie (m ²)	Orientación
Despacho1	21,58	Sur-Oeste
Despacho2	14,50	Sur-Oeste
Despacho3	20,97	Sur-Oeste
Oficina	47,35	Sur-Este
Entrada	53,04	Sur
Distribuidor	13,12	Interior
Sala de reunión	34,16	Interior
Archivo	12,25	Interior

Aseos	5	Interior
-------	---	----------

Tabla 7. Características de las zonas a estudiar

Las zonas correspondientes al archivo, los aseos, y la entrada no están climatizadas, pero se han tenido en cuenta para la simulación como zonas adyacentes y en el caso de la entrada, la cual dispone de un cerramiento acristalado simple con orientación al Sur para la reducción de la radiación solar al interior de nuestro edificio.

Para tener un conocimiento más claro de la situación actual del edificio necesitamos conocer las superficies acristaladas en contacto con el exterior las cuales producen la mayor entrada de calor procedente de la radiación solar. En todas ellas existe un sistema de sombreamiento interior, el cual supone una problemática para el confort del usuario que se encuentra próximo.

Zona	Superficie acristalada [m ²]	Orientación
Despacho1	11,1	Sur-Oeste
	8,7	Sur
Despacho2	8,7	Sur-Oeste
Despacho3	10,5	Sur-Oeste
Oficina	22,5	Sur-Este
	9	Sur
Entrada	10,2	Sur

Tabla 8. Ubicación y superficie de los huecos con cerramientos acristalados

Todos los cerramientos acristalados poseen una altura de 3m y hemos incluido la superficie ocupada por los marcos en la acristalada.

Todos los vidrios están formados por los mismos vidrios y marcos los cuales han sido detallados en el apartado anterior.

A continuación detallamos el horario laboral que hemos utilizado para la simulación de entrada de personal. El horario de uso corresponde al horario laboral, el cual es el mismo en todas las zonas.

- De Lunes a Viernes: de 8:00h – 20:00h

Debido al horario laboral los fines de semana las zonas no estarán climatizadas.

2.4 Condiciones interiores de diseño

Según el apartado 02.2 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), las condiciones internas de diseño son:

Estación	Temperatura [°C]	Velocidad del aire [m/s]	Humedad relativa [%]
Verano	23 a 26	<0,18	40-60
Invierno	20 a 24	<0,15	40-60

Tabla 9. Condiciones interiores de diseño

Para los límites de calefacción hemos seleccionado 20°C y para refrigeración 25°C.

2.5 Ganancias internas

Cualquier elemento o máquina que modifique la temperatura seca y humedad relativa interior se considerará una carga térmica la cual deberemos incluirla en la configuración de las zonas.

Existen cargas sensibles, si solo modifican la temperatura seca del interior, como ocurre con la iluminación y equipos de ofimática como ordenadores; y también existen cargas latentes las cuales modifican la humedad relativa interior, como es el caso de la carga debida al personal.

Según la norma ISO 7730, para una actividad propia de una oficina (sentado y escribiendo), el cuerpo humano introduce una carga térmica sensible de 60 W y 40 W de carga latente.

Las cargas térmicas interiores propias de cada zona se tendrán en cuenta debido a que introducen una carga térmica la cual tendrá que ser vencida por el equipo de refrigeración.

Zona	Carga sensible			Carga latente	Total (W)
	Iluminación (W)	Ocupación (W)	Equipos (W)	Ocupación (W)	
Despacho1	310	120	230	80	740
Despacho2	156	120	230	80	586
Despacho3	310	120	230	80	740
Oficina	520	240	920	160	1840

Distribuidor	310	60	-	-	370
Sala de reunión	468	240	-	-	708
Archivo	104	60	-	-	164
Aseos	52	60	-	-	112

Tabla 10. Ganancias internas según cada zona

La iluminación en todas las zonas se realiza mediante tubos fluorescentes de 26 W de potencia cada uno.

El valor de la carga térmica debida a equipos ha sido obtenida de la base de datos del Trnsys, la cual equivale a 230W para ordenadores.

2.6 Equipos preexistentes

Actualmente el edificio esta climatizado mediante un sistema de aire-agua, donde una enfriadora elimina la carga térmica de las zonas. Dicha enfriadora alimenta unos fan coils situados en el falso techo los cuales distribuyen el aire hasta todos los elementos de distribución del aire que dispone nuestro edificio.

El siguiente esquema muestra una simplificación del sistema que actualmente está en funcionamiento en nuestro edificio de estudio. El aire de retorno se extrae mediante rejillas colocadas en la parte inferior de las paredes.

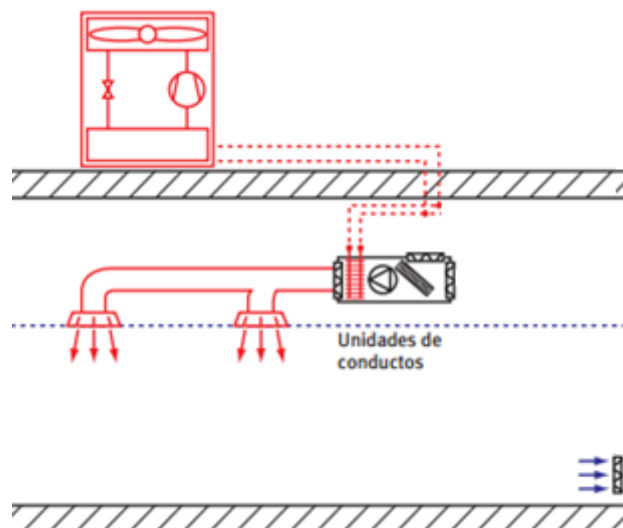


Figura 5. Sistema de climatización mixto con ventilación incluida

La enfriadora aire-agua dispone de un compresor tipo Scroll y compuesta por dos ventiladores axiales de bajas revoluciones. El condensador está constituido mediante batería de cobre con aletas de aluminio y el evaporador mediante placas en acero inoxidable. Posee un microprocesador que regula la temperatura del agua. La potencia



frigorífica y calorífica respectivamente es iguales a 23,8 kW y 29,4kW. El fluido refrigerante utilizado es el R410a con una carga total de 6,1 Kg. Todas estas características se encuentran en el catálogo facilitado en el Anexo 3.

El sistema de distribución se realiza mediante una red de conductos de aire aislados con lana de vidrio en su parte exterior que permiten la llegada del aire procedente de los fan-coils hasta los elementos de distribución. Los elementos de distribución que están instalados actualmente son de tipo rotacional los cuales facilitan la distribución homogénea del aire en el interior de las zonas.

3 Condiciones meteorológicas y energéticas

3.1 Condiciones exteriores

Este apartado tratará sobre el conocimiento de las condiciones climatológicas externas que utilizaremos para la simulación de nuestro edificio. Los datos climatológicos han sido introducidos al software Trnsys desde de la base de datos Energy+ tomando las condiciones referentes a Alicante.

Los principales parámetros que analizaremos serán la temperatura del aire exterior, la humedad relativa, el viento y la radiación solar.

Para tener un conocimiento más amplio sobre cómo afecta la radiación solar en los edificios y que tipos de radiación existen explicaremos a continuación los fundamentos principales de la radiación solar.

Radiación Solar

Al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol se le conoce como radiación solar. Dicha radiación solar se distribuye desde el espectro infrarrojo (longitudes de ondas largas) hasta el ultravioleta (longitudes de onda cortas).

La radiación ultravioleta es absorbida por los gases que componen la atmósfera, principalmente por la capa de ozono. Este efecto provoca que no toda la radiación emitida por el Sol sea recibida por la Tierra. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que corresponde con la potencia por unidad de superficie, expresada en W/m^2 .

La irradiancia que recibimos antes de penetrar la atmosfera corresponde a **1367 W/m^2** , conocida también, como constante solar.

Según la incidencia de la irradiancia solar existen dos tipos:

- Irradiación Solar Directa: como su nombre indica, aquella que recibimos directamente del Sol.
- Irradiación Solar Difusa: aquella que recibimos desde todas las direcciones provocada por la dispersión de la radiación del sol en la misma. En un día nublado, por ejemplo solo recibimos radiación difusa.
- Irradiación Total o Global: es la suma total de la radiación directa y la difusa que recibimos.



Una vez comentado los aspectos más importantes de los parámetros que vamos a analizar en el presente apartado, pasaremos a la elección del periodo de tiempo en el cual analizaremos las condiciones climatológicas.

Analizaremos la evolución de los parámetros principales para dos periodos de tiempo.

- Para los meses de invierno, desde el 6 al 14 de enero.
- Para los meses de verano, desde el 14 al 21 de julio.

Estos periodos de tiempo han sido seleccionados debido a las buenas condiciones de climatológicas, en lo que respecta a un día despejado durante una semana.

Mediante el conocimiento de las condiciones exteriores podemos conocer los límites, la variación y la evolución a lo largo de un día durante una semana.

En las siguientes ilustraciones observaremos la evolución de los principales datos climatológicos para la segunda semana de enero y para la tercera semana de julio.

3.1.1 Temperatura y humedad relativa

La temperatura y la humedad relativa del ambiente exterior son dos de los más importantes parámetros meteorológicos analizados para la simulación térmica de edificios.

Como hemos citado anteriormente, analizaremos los parámetros para dos periodos de tiempo diferentes:

- Temperatura exterior para la segunda semana de enero

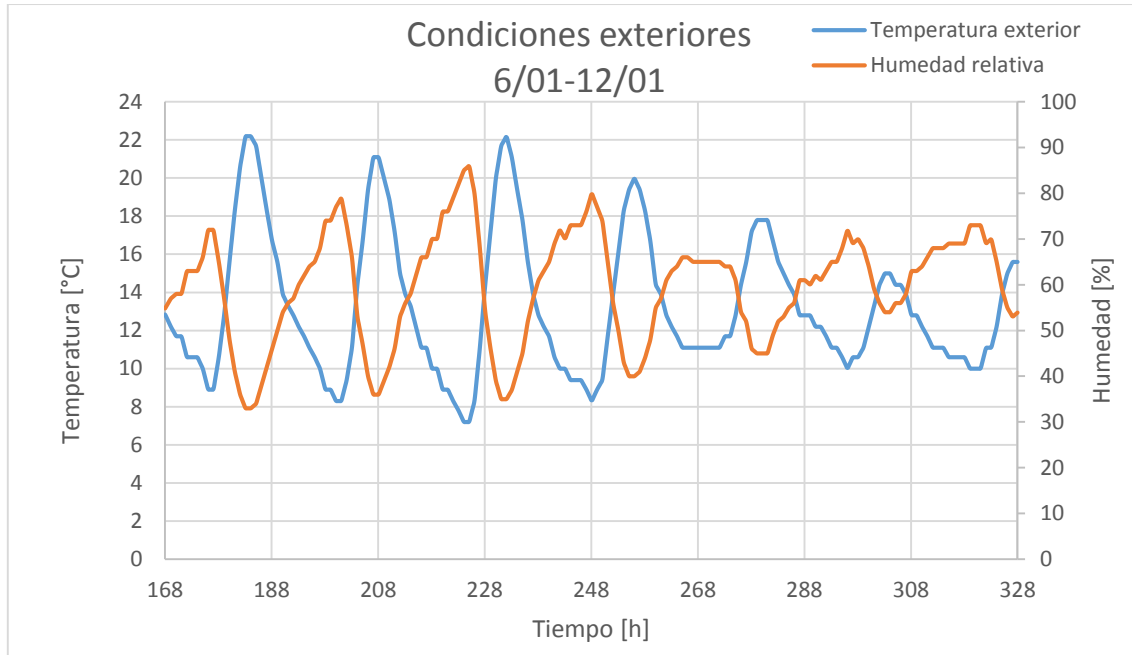


Gráfico 1. Temperatura y humedad relativa exterior en la segunda semana de Enero

Como podemos observar en el anterior gráfico la variación de temperatura diaria para el mes de Enero, cuando estamos utilizando la calefacción es aproximadamente de 10°C, con temperaturas mínimas de 8°C y máximas de 22°C. Teniendo en cuenta que la temperatura de consigna para calefacción es de 20° podemos anticipar que existirán momentos donde no necesitemos el uso de la calefacción.

Respecto a la humedad relativa se aprecia como las temperaturas bajas corresponden a los mayores valores de humedad relativa. Para la semana de enero analizada tenemos una oscilación de la humedad relativa de un 40% alcanzando valores máximos equivalentes al 80% de humedad relativa en el exterior.

- Temperatura y humedad relativa exterior para la tercera semana de julio

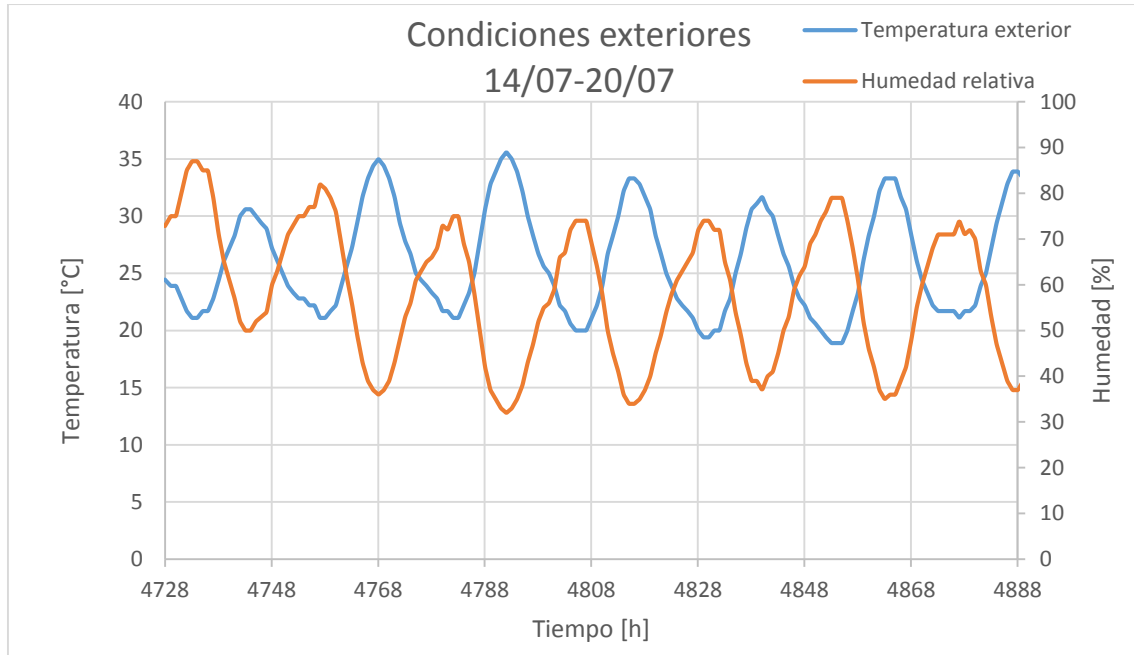


Gráfico 2. Temperatura y humedad relativa exterior en la tercera semana de julio

Debido a que nos encontramos en un ambiente cálido, las temperaturas para los meses cálidos son muy elevadas respecto a otras zonas de la península. Como se observa en el gráfico anterior en el mes de julio se produce una variación aproximada de 15°C en algunos días, con una máxima de 36°C y mínima de 19°C, por lo tanto esta variación de temperatura diaria podría resultar útil para la refrigeración aprovechando las condiciones nocturnas. Este estudio se realizara en el apartado de soluciones alternativas.

3.1.2 Radiación solar

En las siguientes gráficas podremos observar la proporción de radiación global que recibimos una vez la radiación atraviesa la atmósfera comparada con la que se recibe antes de penetrar la atmósfera.

- Radiación solar para la segunda semana de enero

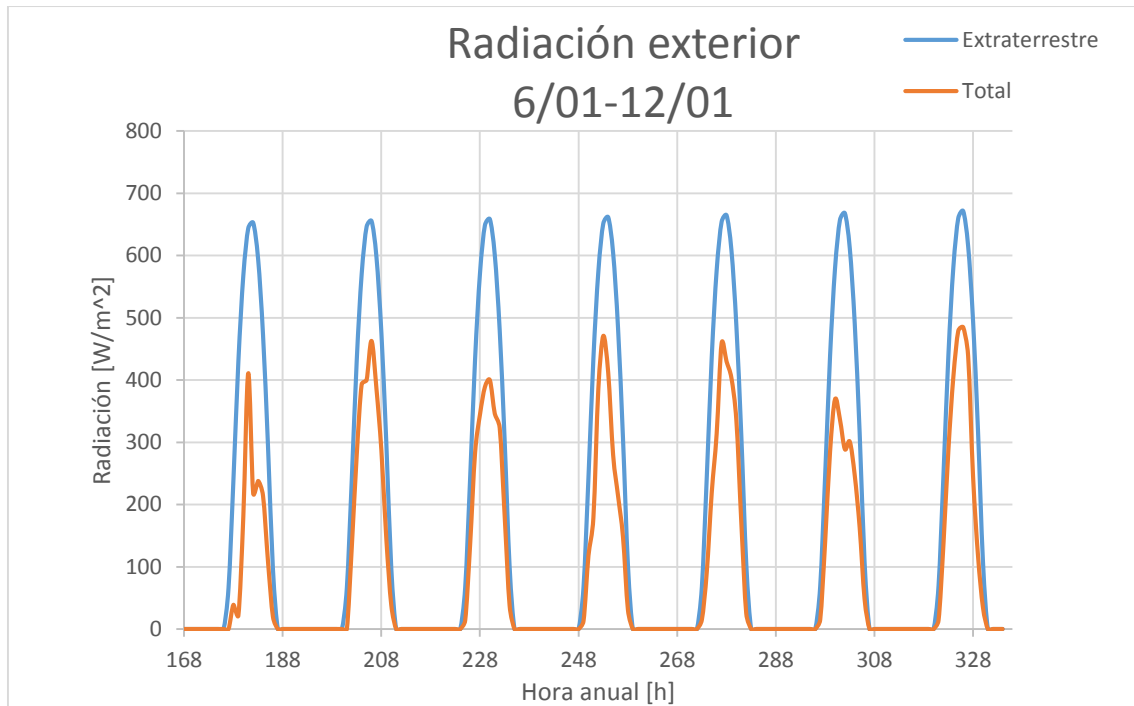


Gráfico 3. Radiación solar total en la segunda semana de Enero

En los meses de invierno se puede observar que recibimos una radiación global total máxima de 450 W/m^2 . Debido al paso de la radiación por la atmósfera recibimos un 30,7% menos de radiación.

- Radiación solar en la tercera semana de julio

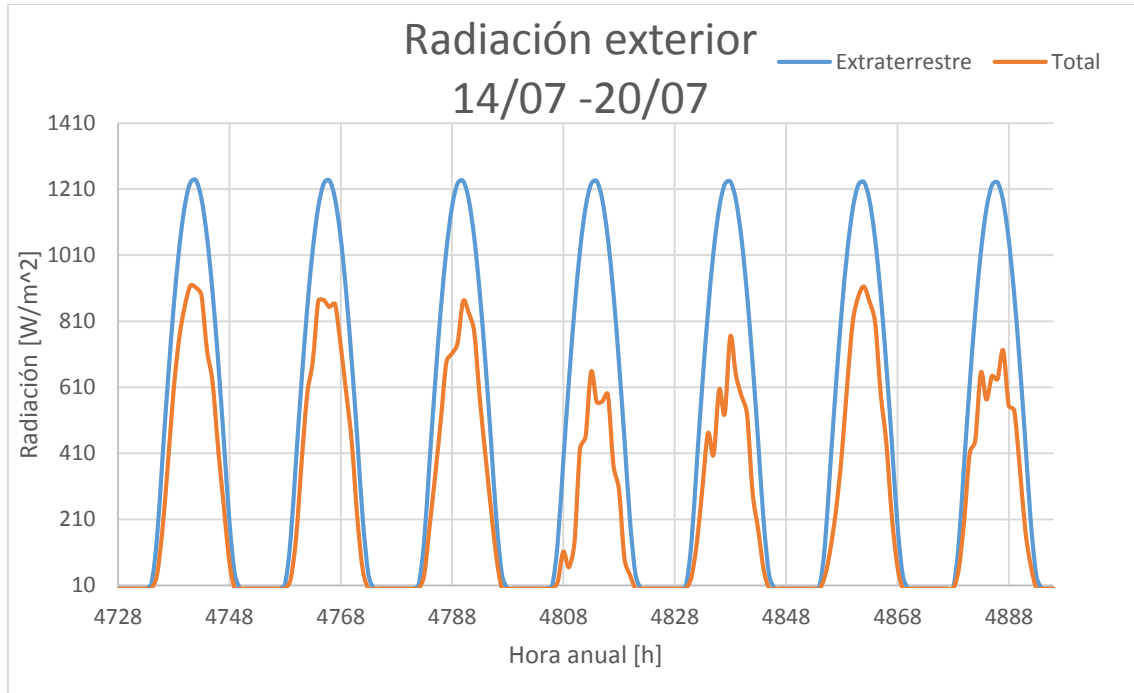


Gráfico 4. Radiación solar total en la tercera semana de Julio

Para el mes de julio en cambio la radiación global máxima recibida asciende a 900 W/m², la cual corresponde al doble de radiación que recibimos para el mes de enero.

Las perturbaciones bruscas que se producen en la radiación son debidas a la aparición de nubes.

3.2 Condiciones interiores

En los siguientes gráficos mostraremos la diferencia entre las condiciones exteriores y las condiciones que se dan en el interior de nuestra zona de estudio. Para ello elegiremos el mismo intervalo de tiempo para realizar la comparativa y seleccionaremos la zona más crítica. Dicha zona corresponde a la "Oficina". Esta zona tiene una orientación Sur-Este la cual tiene un cerramiento totalmente acristalado.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores las condiciones de confort que hemos fijado son 20 °C para calefacción y 25 °C para refrigeración. La temperatura de todas nuestras zonas estará entre esos dos valores en el horario laboral el cual comienza a las 8:00h y finaliza a las 20:00h. Los fines de semana no realizaremos el control de las condiciones internas.

3.2.1 Temperatura

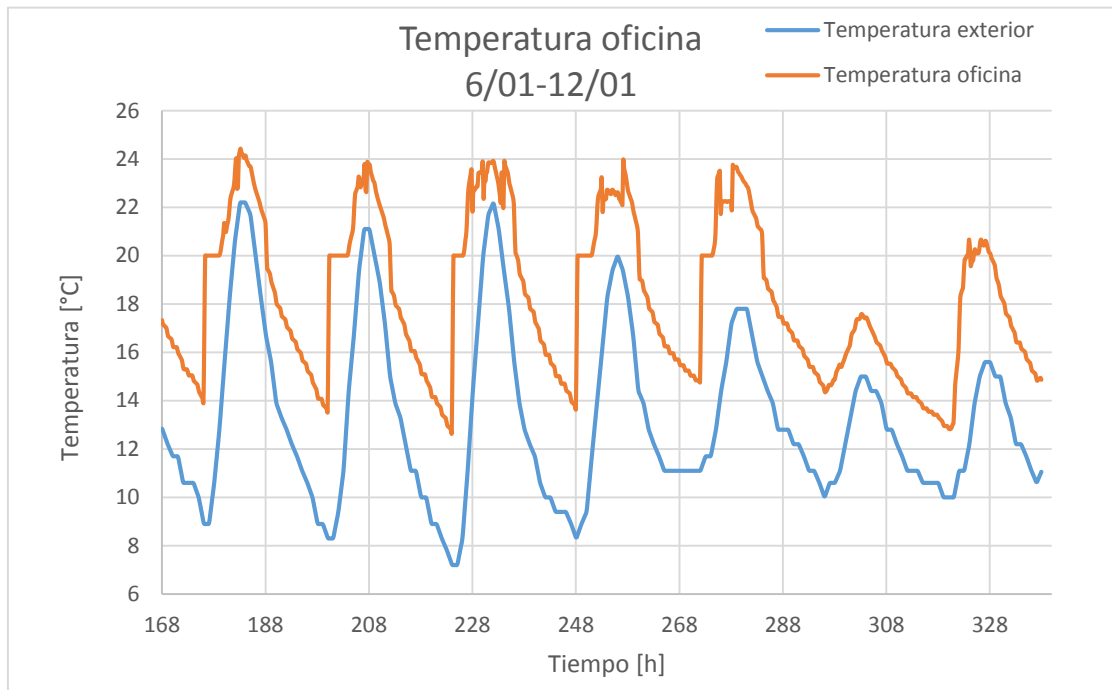


Gráfico 5. Comparativa temperatura interior de la oficina con las condiciones exteriores en Enero.

En el anterior grafico observamos que se aseguran las condiciones de confort para el horario de uso del edificio, por lo tanto los dos últimos días corresponden al fin de semana. Cuando la temperatura exterior alcanza el máximo, debido a las ganancias internas y a la entrada de radiación solar, tenemos un periodo de tiempo donde no hacemos uso de la calefacción. Además podemos observar una variación en la temperatura interior la cual corresponde a la apertura de ventanas que el usuario realizaría cuando en el exterior las condiciones son favorables para mantenerse en la zona de confort definida anteriormente entre los 20°C y los 25°C.

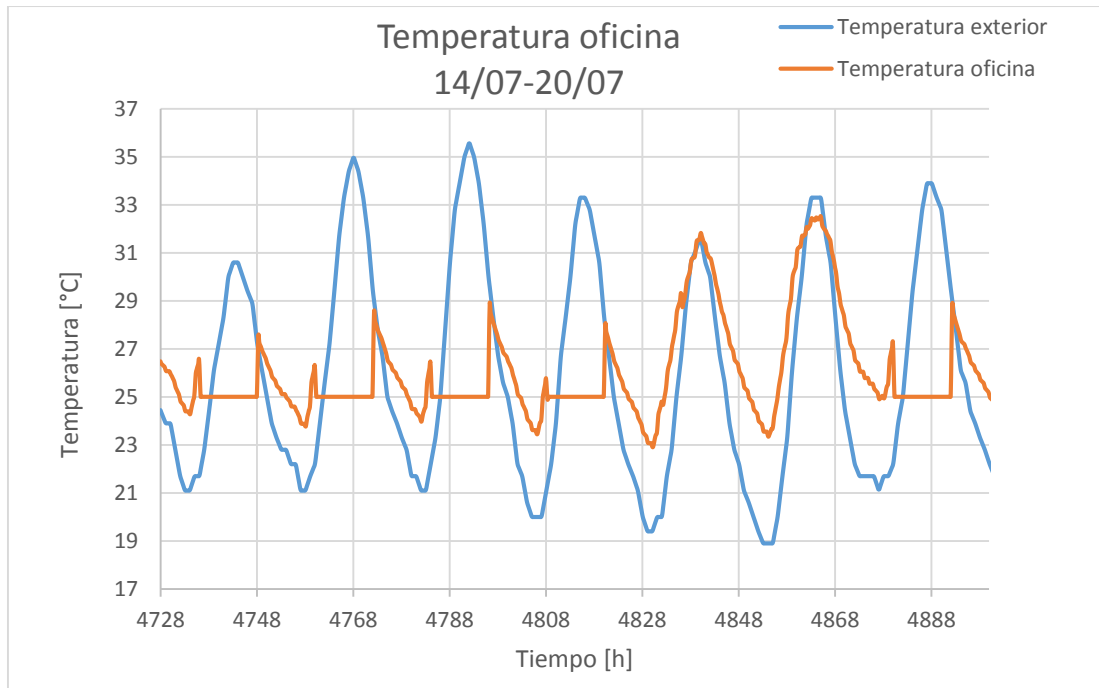


Gráfico 6. Comparativa de la temperatura en la oficina con las condiciones exteriores en Julio.

Para la comparativa en verano en cambio, cuando en el exterior se generan las temperaturas mínimas, en el interior de nuestras zonas no aprovechamos la baja temperatura debida al horario de uso del edificio. El aprovechamiento de esta temperatura será estudiada en el apartado 10.4 para las soluciones alternativas según sistemas de ventilación. También se aprecia como la necesidad de refrigeración es alta y durante todo el horario de uso. Por lo tanto la primera conclusión respecto a la demanda energética es que la demanda por refrigeración será mayor que la de calefacción.

3.2.2 Humedad relativa

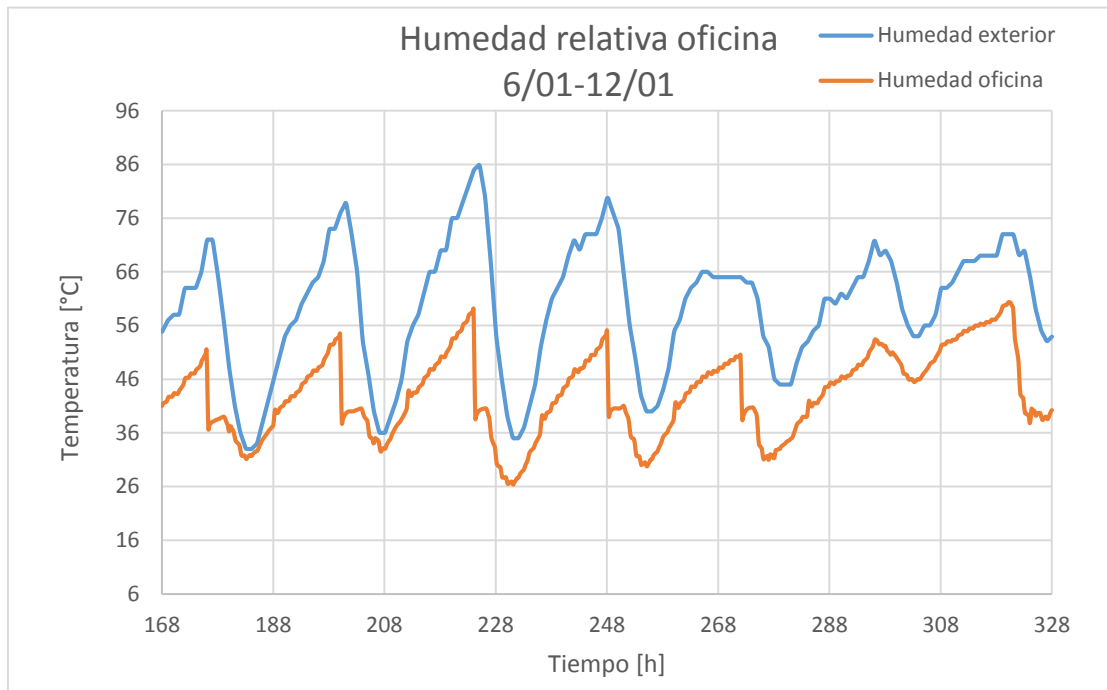


Gráfico 7. Comparativa de la humedad relativa de la oficina con las condiciones exteriores en la segunda semana de enero.

Como podemos apreciar en el anterior gráfico, para la simulación del modelo de nuestro edificio, no hemos incluido un control de la humedad en los sistemas de calefacción y refrigeración. Por lo tanto si queremos mantener las condiciones de humedad entre el 50-60% como hemos definido anteriormente será necesario realizar un control de la humedad producida en el interior de nuestra zona, ya que en los momentos en los cuales existe personal la humedad relativa interior desciende por debajo del 50%. Dicha regulación de la humedad puede realizarse mediante la introducción de aire húmedo exterior ya que su humedad relativa es superior a la del interior.

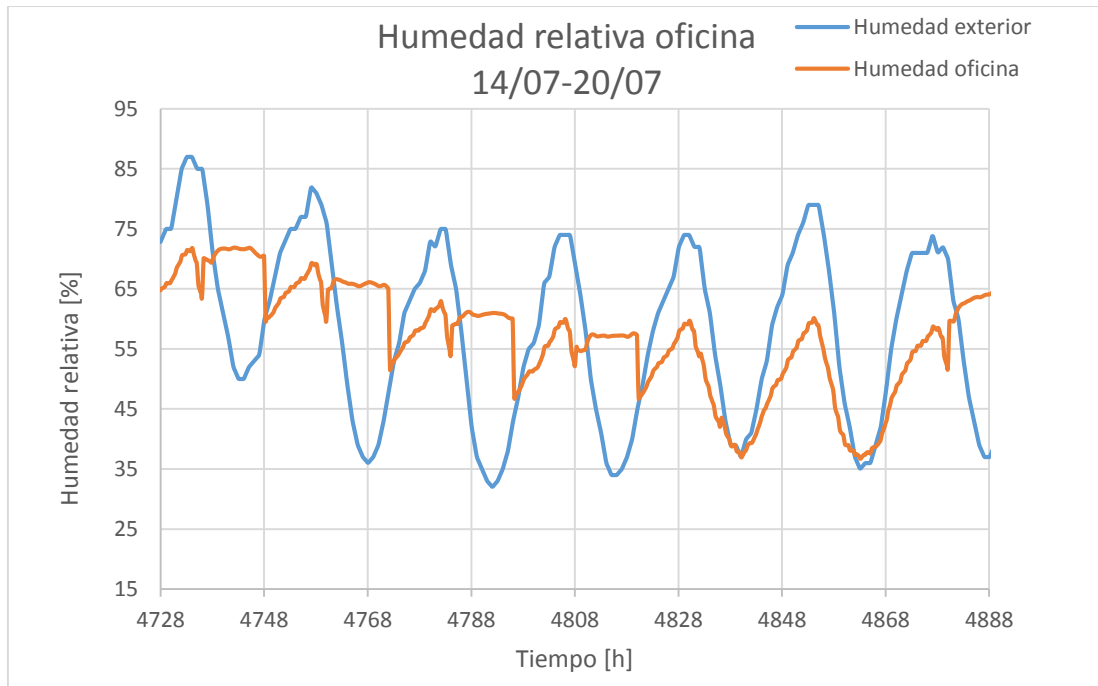


Gráfico 8. Comparativa de la humedad relativa de la oficina para la tercera semana de julio.

Al contrario que en los meses de invierno, observamos como el principal problema ahora es el exceso de humedad relativa en el interior de nuestro edificio. Pero en este caso no podemos aprovechar las condiciones del aire exterior, ya que necesitamos reducir la humedad relativa y el aire exterior posee mayor cantidad de vapor de agua. En el presente proyecto no vamos a tratar la producción de humedad interior, pero para futuros proyectos, si se desea disminuir la humedad relativa interior se deben emplear deshumidificadores.

3.2.3 Radiación solar sobre los cerramientos exteriores

Para el apartado de la radiación nos centraremos en la incidente sobre los cerramientos de vidrio exteriores. En este caso tenemos cuatro zonas en las cuales disponemos de cerramientos acristalados. Estas zonas son:

- Oficina: Sur-Este y Sur
- Despacho1: Sur-Oeste y Sur
- Despacho2: Sur-Oeste
- Despacho3: Sur-Oeste

Como en los apartados anteriores, estudiaremos la radiación global para la segunda semana de enero y la tercera de julio para cada cerramiento respectivamente.

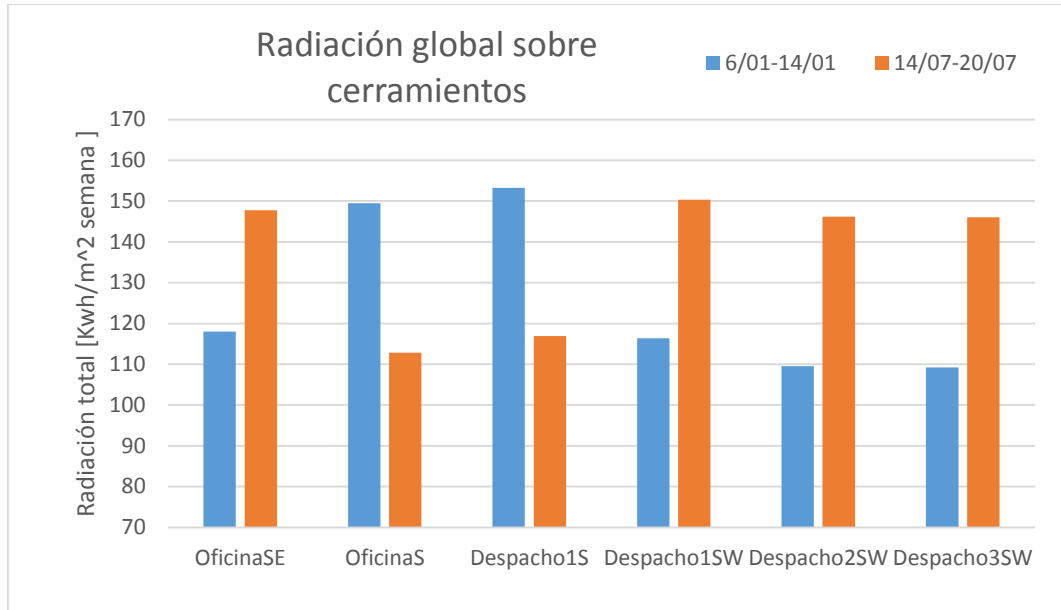


Gráfico 9. Radiación global total incidente por los cerramientos exteriores durante la segunda semana de enero y la tercera semana de julio.

A partir del anterior gráfico observamos diferentes fenómenos. Uno de ellos es la influencia del ángulo de incidencia de la radiación solar con el calor que genera, ya que podemos observar como para la semana de enero la orientación sur es la que mayor radiación global recibe de todas las orientaciones debido a que en el mes de invierno el ángulo de incidencia del Sol con los cerramientos es menor. El segundo fenómeno que podemos observar es como la radiación global que recibimos en los cerramientos con orientación sur y sur-oeste para los meses de verano es prácticamente la misma y en cambio para los meses de invierno la orientación sur es la que mayor radiación absorbe. Éste fenómeno es debido a la trayectoria que el Sol describe durante todo el año.

3.2.4 Sensibilidad del caudal de ventilación en la simulación

A la hora de realizar la simulación de un edificio existen parámetros difíciles de estimar. Uno de ellos es el caudal de aire equivalente a la apertura de ventanas cuando las condiciones exteriores son favorables para la situación puntual del momento. Por lo tanto estudiaremos la sensibilidad de fijar un valor u otro.

El caudal de aire en la ventilación se expresa en renovaciones/hora. Dicha unidad expresa el caudal para que todo el aire que se encuentra en un volumen determinado sea renovado totalmente.

Mediante la simulación anual de nuestro edificio hemos comprobado como para los meses de marzo y abril principalmente, meses en los cuales empleamos la refrigeración, las condiciones exteriores son favorables para determinados momentos del día. Para los meses donde empleamos la calefacción el aire exterior será utilizado como método para refrigerar zonas en las cuales se superen los 25°C.

Por lo tanto el estudio de la sensibilidad del valor para el caudal de ventilación sólo afectará a la demanda de refrigeración.

En la siguiente tabla se muestran los resultados numéricos:

Caudal [ren/h]	Refrigeración [kWh/m ² año]
0	62,19
10	55,89
20	54,14
30	53,95

Tabla 11. Sensibilidad del caudal de ventilación en la demanda de refrigeración

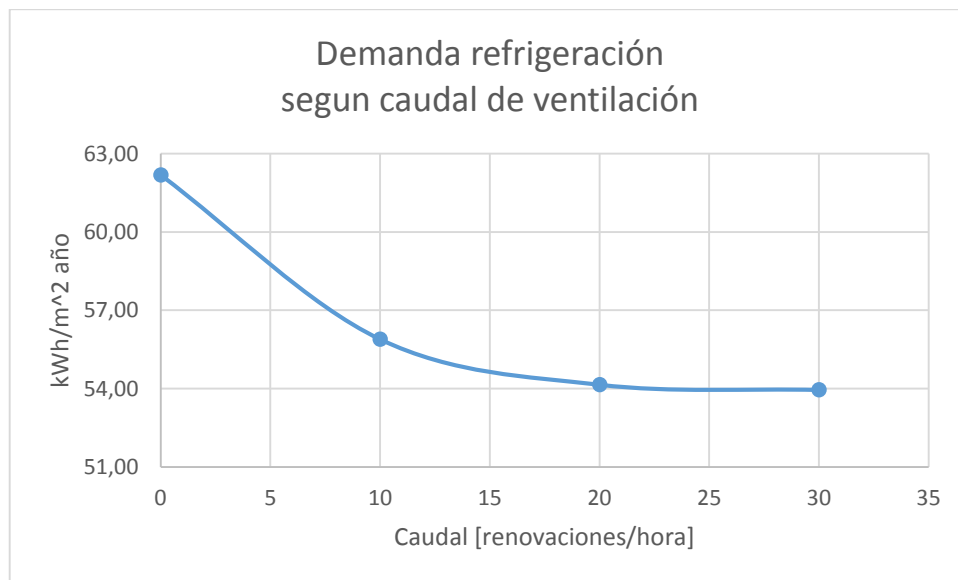


Gráfico 10. Variación de la demanda de refrigeración en función del caudal de ventilación

Como se puede observar en la anterior gráfica cuando alcanzamos un caudal de 20 renovaciones/hora la demanda de refrigeración se mantiene prácticamente constante aunque aumentemos ese caudal, ya que existe un momento donde las condiciones de temperatura exterior e interior se equilibran, y por lo tanto la entrada de un mayor caudal de aire no supone ninguna variación en la transmisión de calor con el interior.

Para la simulación de nuestro edificio utilizaremos un caudal de 10 ren/h. Dicho caudal ha sido elegido ya que podría ser producido por la apertura de ventanas, sin la necesidad de un sistema de ventilación.

3.2.5 Demanda energética

En el presente apartado abordaremos el objetivo principal del presente proyecto, es decir, la optimización de la demanda energética inicial de nuestro edificio. Para ello simularemos mediante Trnsys todas las zonas descritas en el apartado 1.4.3 con todas las ganancias y controles de ventilación y elementos de sombra que inicialmente están presentes en nuestro edificio de estudio.

Los siguientes gráficos muestran la demanda mensual de refrigeración y calefacción para cada zona y el ratio (kWh/m² año) utilizado normalmente para la comparación de la demanda energética en edificios.

En la siguiente tabla mostraremos las demandas de refrigeración y calefacción total para cada mes.

Mes	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Enero	0,00	4,50	4,50
Febrero	0,00	2,85	2,85
Marzo	0,00	1,79	1,79
Abril	0,62	0,00	0,62
Mayo	2,73	0,00	2,73
Junio	6,80	0,00	6,80
Julio	13,52	0,00	13,52
Agosto	16,37	0,00	16,37
Septiembre	10,30	0,00	10,30
Octubre	5,54	0,00	5,54
Noviembre	0,00	1,24	1,24
Diciembre	0,00	3,47	3,47
Total	55,89	13,85	69,74

Tabla 12. Demanda de calefacción y refrigeración total mensual inicial

Si observamos los resultados podemos llegar a la conclusión que la demanda de refrigeración es superior a la de calefacción como era de esperar al tratarse de un clima cálido. También podemos observar que Agosto es el mes con la mayor necesidad energética y Abril por el contrario el mes donde la demanda energética es mínima.

La demanda de refrigeración supone un 81% de la demanda total de nuestro edificio. Por lo tanto nos centraremos principalmente en la reducción de la refrigeración.

Si representamos los valores totales de demanda para cada mes del año observamos lo siguiente:

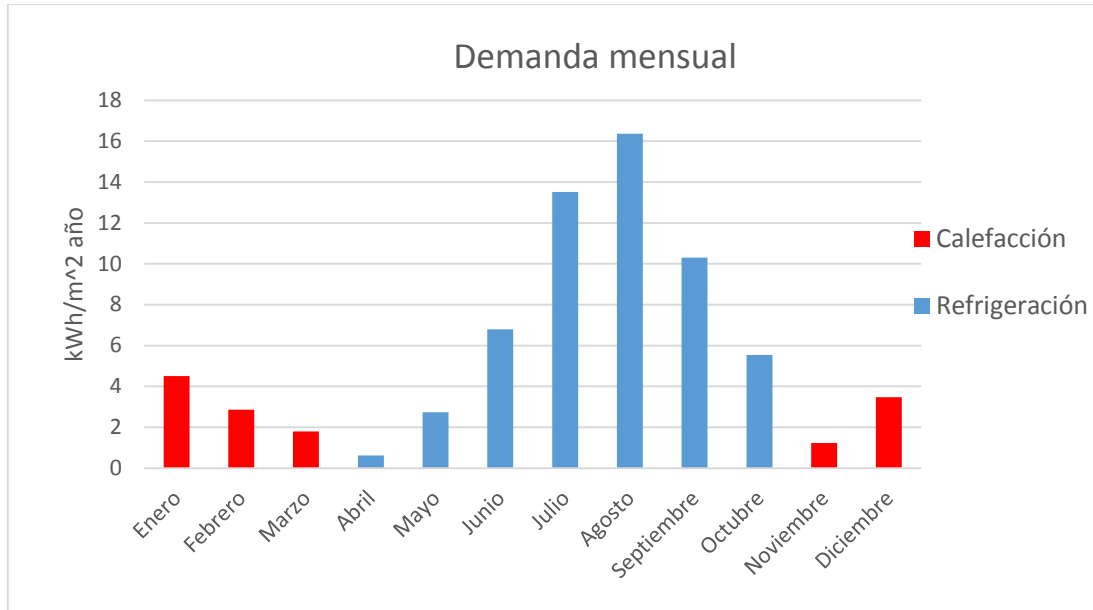


Gráfico 11. Demandas de refrigeración y calefacción mensuales totales para cada mes del año.

Como se aprecia en los datos en los meses de marzo y abril la demanda de refrigeración y calefacción respectivamente son prácticamente nulas. La elección de los meses en los cuales tenemos que hacer uso de la refrigeración y calefacción respectivamente, se ha realizado comparando las demandas máximas en ambos casos y verificando que la configuración se asemeja al uso real determinado actualmente en dicho edificio, es decir, en la actualidad en el mes de Abril la propia producción de calor interno debido a las ganancias térmicas y la entrada de radiación solar proveniente de las zonas que están en contacto con el exterior, permiten que las condiciones interiores sean aceptables para mantener las condiciones de confort.

También es importante conocer la demanda para cada zona y así fijar la zona donde se deberían tomar las medidas energéticas más exigentes.

Zona	Refrigeración [kWh/m² año]	Calefacción [kWh/m² año]	Total [kWh/m² año]
Sala reunión	1,63	0,01	1,64
Despacho1	13,77	2,69	16,46
Despacho2	6,93	3,15	10,08
Despacho3	8,70	2,86	11,56
Oficina	23,71	2,95	26,66
Distribuidor	1,15	2,19	3,35
Total	55,89	13,85	69,74

Tabla 13. Demandas de refrigeración y calefacción para cada zona climatizada



Si nos fijamos en los resultados de la tabla anterior podemos observar como para las zonas interiores, la sala de reunión, no es necesaria la calefacción ni la refrigeración la mayor parte del año, debido a que se encuentra en una zona interior la cual está en contacto con la zona de producción que se encuentra a una temperatura de 25°C la cual se aprovechará en los meses donde hagamos uso de la calefacción mediante la apertura de dos ventanas interiores de las que dispone la zona.

Según los resultados obtenidos podemos afirmar que la zona la cual posee una mayor demanda de refrigeración corresponde a la zona correspondiente a la "Oficina". La demanda de refrigeración de esta zona supone el 42,4% de la demanda de refrigeración total.

Respecto a la demanda de calefacción, no hay diferencias notables entre las zonas climatizadas, destacando ligeramente la zona correspondiente al "despacho 2".

4 Soluciones para la optimización de la demanda

4.1 Planteamiento y simulación de las mismas

En este apartado abordaremos las distintas soluciones constructivas y de control que podríamos adoptar para la optimización de la demanda energética.

Las modificaciones que vamos a introducir son las siguientes:

- Sustitución del vidrio en cerramientos externos.
- Aplicación de sistemas de sombreado.
- Reducción de las superficies acristaladas.
- Sistemas de ventilación.

Para todas las simulaciones tomaremos un caudal de aire de ventilación de 10 renovaciones/hora correspondiente a la apertura de ventanas.

Cada vez que realicemos la simulación de un tipo de mejoras seleccionaremos la óptima, la cual será incluida para las siguientes soluciones, a excepción de la modificación de las superficies acristaladas debido a que no hemos considerado una solución a adoptar debido al tiempo de aplicación y a la exigencia de mantener una estética adecuada, pero hemos creído interesante la realización de su estudio.

4.1.1 Sustitución del vidrio de cerramientos externos

El objetivo de esta medida es la **reducción de la demanda de calefacción**, reduciendo el descenso de la temperatura en el interior de nuestro edificio conservando al máximo el calor generado en el interior debido a la radiación solar o al sistema de calefacción.

Para el análisis de los vidrios estudiaremos la variación de la demanda energética y la radiación solar transmitida a través de las ventanas para cada vidrio respectivamente.

A continuación explicaremos brevemente las características térmicas de los vidrios y cómo calcular sus parámetros.

Según el Documento Básico para el Ahorro de energía, en el apéndice E: *cálculo de los parámetros característicos de la demanda*; necesitaremos conocer la transmitancia térmica (U) de todos nuestros cerramientos. En la siguiente ecuación se muestra la ecuación de la transmitancia térmica.

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (15)$$

donde:



U : transmitancia térmica [W/m^2K]
 R_t : resistencia térmica [m^2K/W]

Para el cálculo de la resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea emplearemos la siguiente expresión del apéndice E del DB-HE 1

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (16)$$

donde:

R : resistencia térmica (m^2K/W).

e : espesor de la capa (m).

λ : conductividad térmica de diseño del material que compone la capa. Se puede calcular a partir de los valores térmicos según la norma UNE-EN 10455:2012.

Como podemos observar en la anterior ecuación, para aumentar la resistencia térmica de nuestro vidrio debemos aumentar el espesor o reducir la conductividad térmica; consiguiendo así un mejor aislamiento térmico.

Debido a que una ventana se compone de una superficie acristalada y otra opaca, el marco, en el cálculo de la transmitancia tenemos que tenerlo en cuenta. En la siguiente ecuación se muestra la transmitancia para una ventana.

$$UH = (1 - FM) \cdot UH, v + FM \cdot UH, m \quad (17)$$

donde:

UH : transmitancia térmica de la ventana [W/m^2K]

FM : superficie del perfil [m^2]

UH, v : transmitancia térmica del vidrio [W/m^2K]

UH, m : transmitancia térmica del marco [W/m^2K]

En nuestro caso hemos estimado en un 15% la superficie ocupada por los marcos respecto a la total de la ventana para todas las simulaciones. La transmitancia térmica del marco que hemos empleado es igual a 20,45 KJ/h m^2K , correspondiente a un marco metálico.

Una vez hemos conseguido aumentar la resistencia térmica, o lo que es lo mismo, reducir la transmitancia térmica o coeficiente global de transmisión U , la transmisión de calor será menor, como podemos observar en la siguiente ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ [W]} \quad (18)$$

donde:

Q: transmisión de calor a través de una superficie

U: coeficiente global de transmisión [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A: área de transmisión [m^2]

ΔT : diferencia de temperatura [K]

Pero en el cálculo de la transmisión de calor a través de un vidrio tendremos en cuenta el calor transmitido por conducción y convección. Para el caso de la convección producida por la transmisión de calor con el aire en movimiento que está en contacto con la superficie, utilizaremos los valores indicados en el DB-HE que se detallan más adelante.

En la siguiente ecuación se muestra la ecuación de la transmitancia térmica través de un vidrio multicapa mediante conducción y convección.

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{k} + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e}} \quad (19)$$

donde:

U: transmitancia térmica [W/m^2]

R: resistencia térmica del elemento [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{si}: resistencia térmica superficial interior [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{se}: resistencia térmica superficial exterior [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

h_i: coeficiente de convección interior [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

e: espesor del elemento [m]

k: coeficiente de conductividad térmica del elemento [$\text{W}/\text{m K}$]

h_e: coeficiente de convección exterior [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Según la Tabla 1 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE de Ahorro de energía para el cálculo de parámetros característicos de la envolvente, los valores de las resistencias térmicas superficiales debidas al aire exterior e interior son:

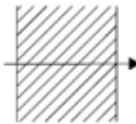
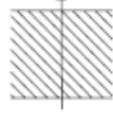

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Figura 6. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior expresadas en m^2K/W

En nuestro caso, los cerramientos son verticales, por lo tanto tomaremos 0,04 y 0,13 respectivamente.

Además del valor de la resistencia térmica (R) y el coeficiente global de transmisión (U), anteriormente citados, otros valores y características que hay que tener en cuenta para el análisis de los distintos cerramientos acristalados son:

Factor solar: porcentaje de radiación solar que atraviesa el vidrio respecto a la que incide sobre la superficie. Dependerá principalmente de los tratamientos aplicados al vidrio y su color.

Composición: esto influirá en la resistencia del vidrio, la cual será mayor si disponemos de un mayor número de vidrios. Actualmente se comercializan ventanas con un máximo de cuatro vidrios. Además actualmente se suelen emplear vidrios los cuales incorporan una cámara de aire o un gas inerte para aumentar la resistencia térmica entre dos capas adyacentes.

Con todas estas características y valores a tener en cuenta, en el mercado existen distintas configuraciones, las más importantes son:

- **Cristal simple o monolítico:** son los más empleados debido a su sencillez pero son los que permiten la mayor transferencia de energía y radiación solar. Existen vidrios con espesores entre 2 y 6mm.
- **Cristal doble con cámara:** compuestos por dos vidrios los cuales están separados por un espacio hermético de aire o argón. El doble acristalamiento reduce las pérdidas de calor, reduciendo el valor del coeficiente global de transferencia de calor U en un 50% en ocasiones. Además permite la entrada

de radiación solar. Los espesores empleados de vidrio oscilan entre 4 y 6mm con un espesor de cámara entre 6 y 12mm.

- **Cristal doble con baja emisividad:** son aquellos vidrios en los que en una cara del vidrio ha sido pulverizada un material el cual impide la transmisión de energía, normalmente suele ser plata. Los espesores son los mismos que en el caso del doble cristal con cámara.
- **Cristal doble con control solar:** en estos vidrios el tratamiento mediante un material metálico utilizado en la cara expuesta al exterior permite reflejar parte de la radiación incidente en la superficie. Los espesores son los mismos que en el caso del cristal doble con cámara.
- **Cristal triple y cuádruple:** utilizado en pocas ocasiones debido a su alto coste son ventanas donde le añaden tres o hasta cuatro vidrios separados todos ellos por una cámara de aire o argón. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de una ventana de triple vidrio.

A continuación analizaremos distintos tipos de vidrios de la base de datos del software Trnsys según sus características.

Vidrio	Espesores [mm]	U vidrio [W/m ² K]	Factor transmitido	Factor absorbido	Factor reflejado
Original (simple oscuro)	6	5,73	0,44	0,51	0,05
Simple claro	6	5,73	0,79	0,13	0,08
Doble claro	6/8/6	3,21	0,63	0,23	0,14
Doble bajo emisivo	6/8/6	2,46	0,63	0,23	0,14
Triple claro	4/8/4/8/4	2,26	0,58	0,24	0,12

Tabla 14. Características principales de los vidrios estudiados

Una vez definidas las características de los distintos vidrios, procederemos a la simulación de los mismos para estudiar la variación de la demanda de calefacción y refrigeración.

Hay que tener en cuenta que todas las zonas que reciben radiación solar están previstas de elementos de sombra interiores. Para la introducción de estos elementos hemos considerado un factor de sombra para elementos interiores igual a 0,6, correspondiente a un color medio.

En la siguiente tabla mostraremos la radiación solar transmitida al interior a través de las ventanas para la zona correspondiente a la "Oficina", la cual está compuesta por un

cerramiento acristalado de 22,5m² con orientación sur-este, y uno de 9m² con orientación sur cuya superficie interior de la zona asciende a 60,55m². El análisis se realizará para el día 14 de julio al tratarse de un día despejado.

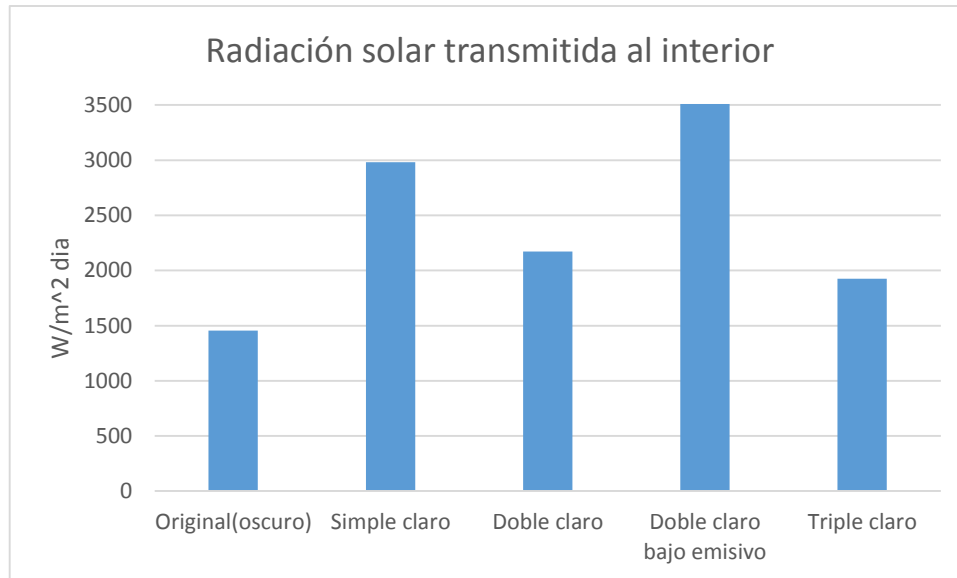


Gráfico 12. Radiación solar transmitida al interior de la "oficina" el 14 de julio para cada vidrio.

Según el anterior gráfico el vidrio a través del cual atravesará la mayor parte de la radiación solar es el doble claro bajo emisivo. El vidrio originalmente instalado es el vidrio que recibe menos radiación de todos los vidrios estudiados, esta decisión se tomó para reducir la refrigeración mediante el oscurecimiento del vidrio, pero sacrificando la calefacción, ya que en la siguiente tabla podemos observar como con el vidrio original obtenemos una mayor calefacción.

Vidrios	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Original (simple oscuro)	55,89	13,85	69,74
Simple claro	68,01	10,44	78,45
Doble claro	68,39	6,55	74,94
Doble bajo emisivo	72,63	4,78	77,41
Triple transparente	68,22	4,72	72,94

Tabla 15. Demandas energéticas según cada vidrio simulado.

Nuestro objetivo con la sustitución de los vidrios era la **reducción de la calefacción**. Como podemos observar en la anterior tabla, a medida que introducimos más vidrios la demanda de calefacción disminuye, pero las características ópticas producidas por los tratamientos aplicados en los vidrios también son importantes. Es por ello por lo que



mediante el vidrio simple claro obtenemos una reducción del 25% de la calefacción comparado con el vidrio original simple oscuro.

Atendiendo a los resultados y sin tener en cuenta aún los costes económicos de las soluciones alternativas elegiremos el **vidrio doble bajo emisivo** como solución óptima suponiendo una reducción del 65% de la demanda de calefacción original, aunque tenemos que tener en cuenta el aumento del 11% de la demanda total debido al incremento en la refrigeración del 30%. El motivo por el cual no hemos seleccionado el vidrio triple claro es por la ligera diferencia que supone respecto al doble bajo emisivo.

El aumento de la refrigeración será reducido mediante la implementación de sistemas de sombreado analizado en el siguiente apartado.

4.1.2 Aplicación de sistemas de sombreado

La implementación de sistemas de sombreado tanto interiores como exteriores tiene como objetivo evitar la entrada de radiación solar directa y/o luz exterior, lo que se traduce en una **disminución de la demanda de refrigeración**.

La manera de cuantificar el porcentaje de radiación solar que absorbe nuestro sistema u obstáculo es mediante el factor de sombra. El factor de sombra es la proporción de radiación solar que incide sobre el obstáculo entre la que lo atraviesa. Por ejemplo, si tenemos un sombreado con un factor de sombra de 0,6 el elemento estará permitiendo la entrada del 60% de la radiación total.

Aunque actualmente en el edificio de estudio se emplean sistemas interiores de sombreado como cortinas, siempre es recomendado impedir la entrada de esta radiación desde fuera de la ventana, ya que si utilizamos persianas interiores estaremos acumulando una gran masa de calor en el interior de nuestra zona, la cual producirá un aumento de la temperatura de nuestra zona. Por lo tanto todos los elementos que analizaremos tendrán el objetivo de impedir la entrada de radiación al interior de nuestro edificio.

Existen diversos sistemas de sombreado, por lo tanto analizaremos la demanda para cada sistema y elegiremos el óptimo.

Los principales sistemas de sombreado que existen y vamos analizar son los siguientes:

Retranqueo y voladizo

Es un sistema que consiste en introducir la ventana en un hueco el cual le proporcionara sombra de manera horizontal en el caso del retranqueo y en la vertical mediante el voladizo. En la siguiente figura se representan dichos sistemas.

Según la Tabla 11 del DA-DB-HE 1 según la orientación y longitud de estos sistemas tenemos un factor de sombra determinado.

		ORIENTACIONES DE FACHADAS				
		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$	
S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22	
	$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39	
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27	
	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65	
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43	
	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75	

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Figura 7. Factor de sombra para voladizos

Ya que el factor de sombra no es constante durante todo el día y varía según la estación del año debido al movimiento del sol, calcularemos el factor de sombra para distintas longitudes de voladizo para cada instante de tiempo mediante Trnsys.

Debido al tipo de acristalamiento no hemos considerado una solución alternativa el sombreado mediante retranqueo. Simplemente analizaremos la introducción de un voladizo con distintas longitudes.

En todas las simulaciones hemos incluido unos elementos de sombreado interno los cuales están presentes en nuestro edificio. Todos los cerramientos en los que se implementarán los voladizos disponen de una superficie acristalada de 3m de altura.

La zona correspondiente a la entrada del edificio "Entrada" la cual no disponía de ningún elemento de sombra, también ha sido optimizada mediante la implementación de un voladizo.

En la siguiente tabla se muestra la demanda de refrigeración y calefacción para cada valor de longitud del voladizo.

Longitud [m]	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Original (0)	72,63	4,78	77,41
1	56,19	5,66	61,85
2	50,95	6,93	57,88
3,5	48,50	8,44	56,94
5	47,98	9,45	57,43

Tabla 16. Estudio de la longitud del voladizo

Claramente podemos apreciar en los resultados obtenidos como a medida que aumentamos la longitud del voladizo la demanda de refrigeración disminuye hasta un punto (2 m) donde no varía significativamente aunque aumentemos la longitud del voladizo.

Respecto a la calefacción podemos observar como la implementación del voladizo supone un aumento de la calefacción, el cual va en crecimiento con su longitud.

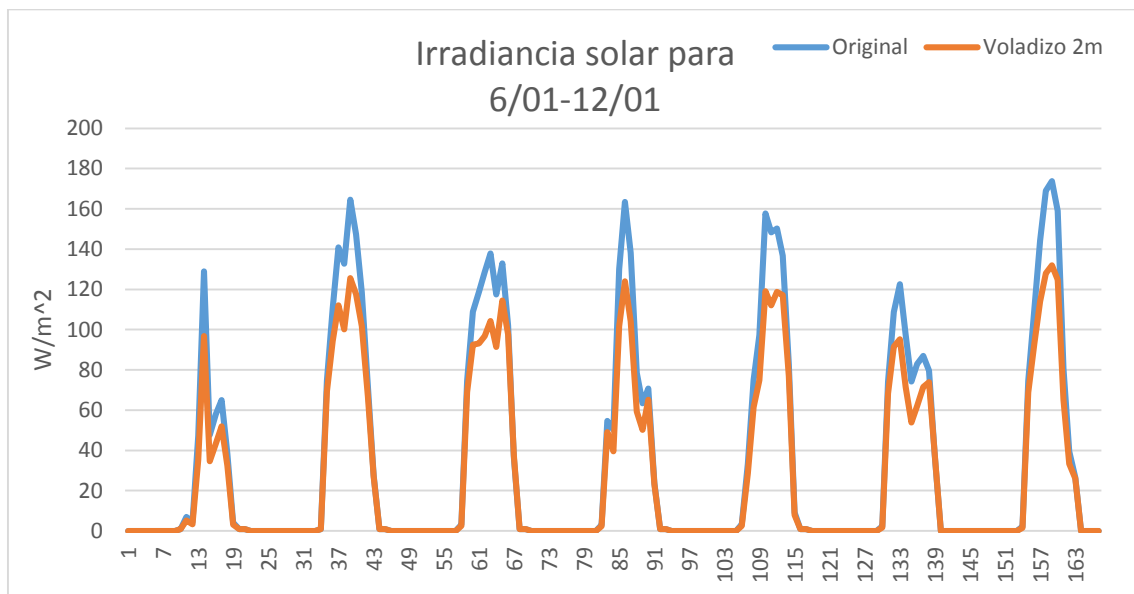


Gráfico 13. Irradiancia solar total recibida para la segunda semana de Enero.

Si observamos el gráfico de la irradiancia solar total recibida para toda la superficie de cerramientos acristalados, cuya superficie equivalente asciende a 70,5 m², para el mes de enero observamos que debido a la baja altura solar, recibimos aproximadamente un 25% de radiación solar menos que en el caso de no tener ningún voladizo. Este aspecto no nos favorece ya que aumentará la demanda de calefacción por el contrario.

Para el mes de julio la radiación por unidad de superficie acristalada (irradiancia) que recibimos es la siguiente:

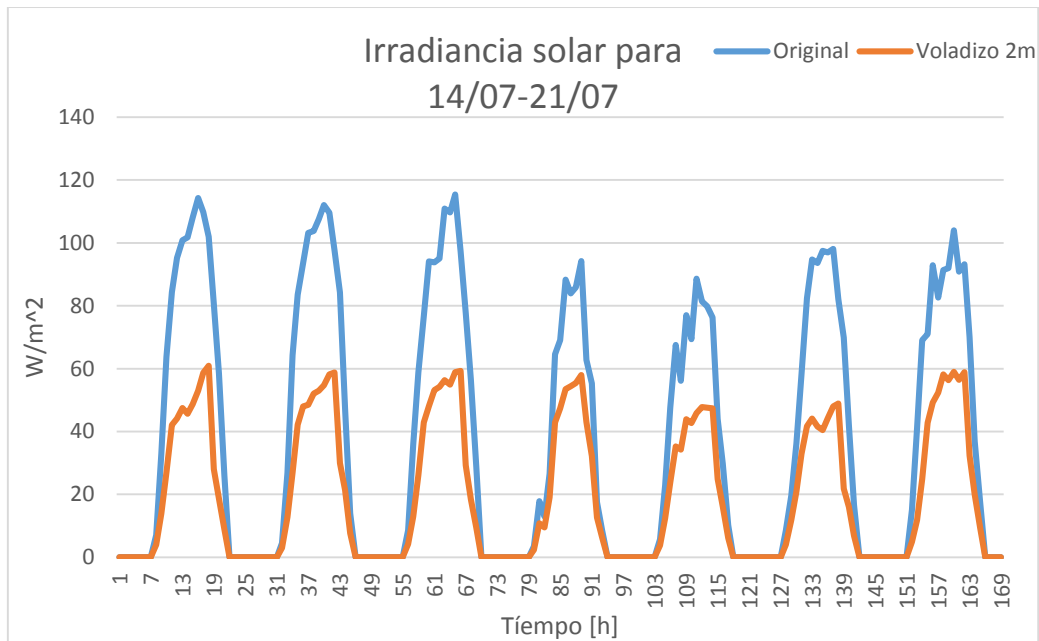


Gráfico 14. Irradiancia solar total recibida para la tercera semana de Julio.

La primera diferencia que observamos respecto a la irradiancia recibida en enero es la disminución de la misma, debido a que en los meses donde el sol se encuentra más bajo respecto al horizonte, el ángulo de incidencia es menor y en cambio en los meses de verano el Sol alcanza una mayor altura solar, proyectando dichos rayos con un ángulo de incidencia mayor.

Respecto a la irradiancia recibida cuando disponemos de un **voladizo de 2m** de longitud en todos nuestros cerramientos exteriores con superficie acristalada podemos afirmar que recibimos una media de un 45% menos de irradiancia solar en todos nuestros cerramientos para el mes de julio.

La utilización de voladizos puede parecer interesante, pero se trata de una solución la cual no puede ser controlada por el usuario o por algún dispositivo de control ya que es un dispositivo fijo perjudicando por lo tanto a la calefacción.

Toldo solar

Un toldo es un sistema que mediante una superficie opaca verticalmente con un cierto ángulo respecto a la vertical, supone un obstáculo para la radiación solar recibida por

nuestro vidrio, ya que proyecta una sombra sobre la ventana en la cual está colocado, evitando así la mayor entrada de radiación directa al interior.

El aspecto más importante de ésta solución es la capacidad de control por el usuario, el cual puede decidir su utilización en los meses donde necesite la refrigeración y por el contrario, aprovechar la radiación solar en los meses de otoño e invierno mediante el control sobre dicho elemento.

Según la Tabla 14 del DA-DB-HE 1 según la orientación, tipo de tejido y ángulo de proyección tenemos un factor de sombra determinado.

	CASO A	Tejidos opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	α	SE/SO	E/O	SE/SO	E/O
	30	0,02	0,04	0,22	0,24
	45	0,05	0,06	0,25	0,26
	60	0,22	0,26	0,42	0,46

	CASO B	Tejidos opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
	30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	60	0,14	0,39	0,26	0,34	0,42	0,46

Figura 8. Factores de sombra para toldos según el DA-DB-HE1

Para el análisis de la demanda mediante el uso de toldos, hemos empleado el caso A con un ángulo α de 45° con tejido opaco, aunque como en el caso anterior no tomaremos los valores proporcionados por el CTE, si no que calcularemos la función del factor de sombra según la posición del Sol durante todo el año.

Función del factor de sombra de un toldo solar inclinado 45°

Para la definición de la función que representará el factor de sombra producido por un toldo solar durante todo el año tomaremos el valor del ángulo cenital como variable conocida.

El ángulo cenital representa la posición del Sol respecto a la normal local. Toma valores desde 0° a 100°.

Para la simulación mediante Trnsys hemos tenido que definir la función del factor de sombra según los valores de los ángulos generados por Trnsys. Para el ángulo cenital evoluciona desde los 100° cuando el Sol está más bajo hasta los 10° cuando el Sol se encuentra con la máxima altura solar para los meses de verano en el hemisferio norte.

El ángulo cenital corresponde a la vertical de la Tierra con origen en el Polo Norte. El valor supera los 90° debido a la declinación solar que provoca que el eje vertical de la Tierra se encuentre ligeramente inclinado.

Los valores del factor de sombra oscilan desde 0 (cuando el cero por ciento de la radiación solar directa es absorbida por el vidrio) y 1 (cuando el cien por cien de la radiación solar directa es absorbida por el vidrio).

En los momentos donde el ángulo cenital oscila entre 55 y 100° hemos definido unos valores de sombra mediante geometría. A continuación hemos aproximado los valores a la evolución de una recta.

Ángulo cenital [°]	Factor de sombra [tanto por 1]
55	0
70	0,2
80	0,3
100	0,4

Tabla 17. Valores definidos para la creación de la ecuación de la recta para el toldo solar

La función del factor de sombra resultante para todos los rangos de valores es:

$$f(\text{cenit}) = \begin{cases} 0; & \text{cenit} < 55 \\ 0,0088\text{cenit} - 0,444; & 55 \leq \text{cenit} \leq 100 \\ 1; & \text{cenit} > 100 \end{cases} \quad (20)$$

Para observar la evolución de la radiación mediante el uso de los toldo, representaremos dicha radiación directa total recibida el 20 de Julio.

Para mostrar la evolución de la radiación solar directa elegiremos la orientación Sur-Este. Dicho toldo solar solo se activará cuando este activado el modo refrigeración, es decir desde marzo hasta octubre.

El toldo solar ha sido implementado en todos los cerramientos exteriores compuestos por superficies acristaladas, incluida la zona perteneciente a la “entrada”.

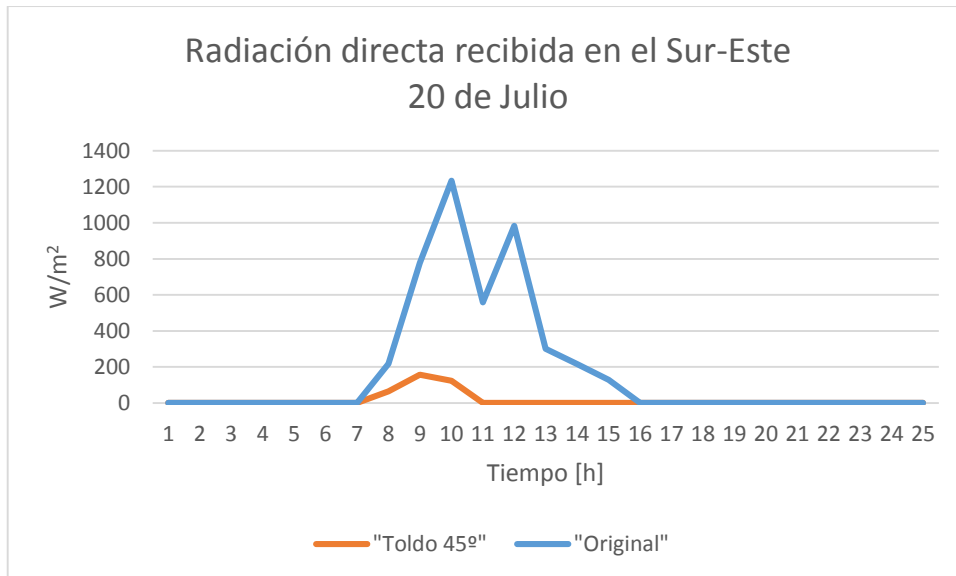


Gráfico 15. Radiación total directa recibida en toda la orientación Sur-Este el 20 de julio.

Como podemos observar en el anterior gráfico para la orientación Sur-Este recibimos un 24% de la radiación directa total respecto a la que recibiríamos si no tuviéramos ningún elemento que produjera sombra. También se aprecia como recibimos esa cantidad de radiación durante las primeras horas de la mañana, dicho efecto ocurre al contrario para la orientación Sur-Oeste, donde la radiación la recibe durante las últimas horas del día.

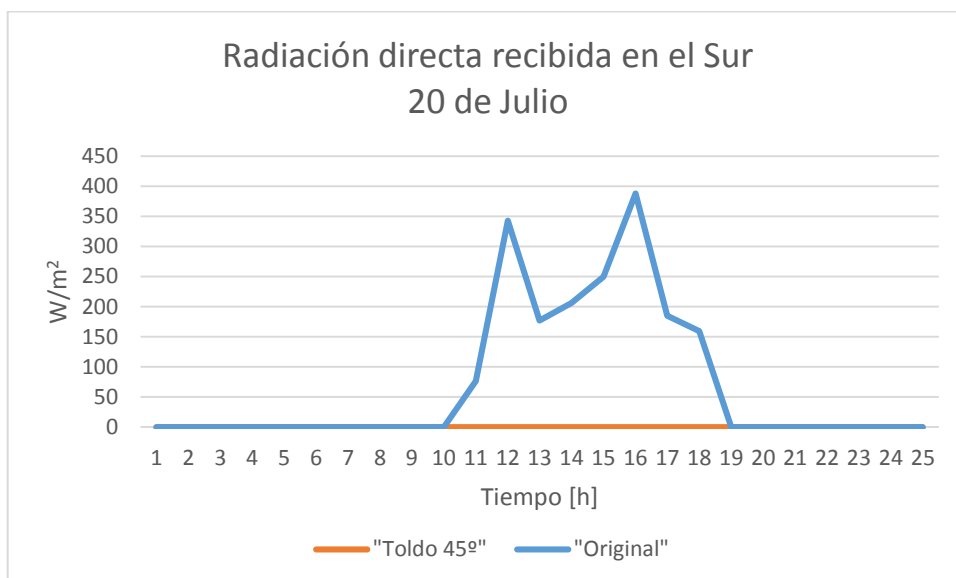


Gráfico 16. Radiación total directa recibida en toda la orientación Sur el 20 de julio.

En cambio sí representamos la radiación directa recibida en la orientación sur para el 20 de julio observamos cómo debido a que la trayectoria del Sol alcanza una elevada altura

solar, no recibimos radiación directa en la orientación Sur mediante la instalación del toldo solar.

A continuación mostraremos la repercusión del toldo solar en las demandas:

	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Original	68,39	6,55	74,94
Toldo solar	14,82	6,55	21,37

Tabla 18. Demandas energéticas aplicando la solución del toldo solar

Mediante la tabla de los resultados obtenidos para la implementación del toldo solar en todos los cerramientos que dispongan de superficie acristalada, observamos una reducción del 78% en la demanda de refrigeración. La calefacción se puede suponer invariable debido a que dicha solución solo es activada por el usuario cuando el modo refrigeración está activado.

Lamas horizontales y verticales

El uso de lamas se basa en el mismo fundamento que los toldos. Según el ángulo y la separación entre ellas permitiremos una entrada de radiación directa y luz según el momento del día.

Las lamas horizontales tienen un mayor rendimiento en fachas con orientación Sur ya que en esa orientación el Sol alcanza una mayor altura solar y las lamas regulan la entrada de luz de arriba a abajo. En el caso de las lamas verticales su máximo rendimiento lo obtienen en orientaciones Este y Oeste.

Según la Tabla 13 del DA-DB-HE 1 según la orientación y longitud tenemos un factor de sombra determinado.

LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (α)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS: Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo α debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

LAMAS HORIZONTALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

Figura 9. Factores de sombra para lamas horizontales y verticales según el DA-DB-HE1

Dichos valores proporcionados por el CTE son un promedio del valor del factor de sombra que se produce durante un año completo. Debido al gran error que supondría tomar dichos valores constantes calcularemos las funciones del factor de sombra.

Función del factor de sombra de una lama vertical inclinada 60° en el Sur-Oeste

En este caso el factor de sombra para una lama vertical será en función del ángulo azimut.

El ángulo azimut solar es el cual forma el propio Sol y el Norte en sentido de rotación de las agujas del reloj alrededor del horizonte de un observador.

Para éste caso hemos definido la ecuación de una recta también para los momentos en los cuales el ángulo azimut toma valores entre 15 y 105. Los valores a partir de los cuales hemos obtenido la ecuación de la recta son los siguientes:

Ángulo azimut [°]	Factor de sombra [tanto por uno]
15	0
30	0,2
60	0,5
90	0,8
105	1

Tabla 19. Valores definidos para la creación de la recta de la lama vertical Sur-Oeste

La función del factor de sombra resultante para todos los rangos de valores es:

$$f(\text{azimut}) = \begin{cases} 0; & \text{azimut} < 15 \\ 0,0108 \cdot \text{azimut} - 0,1462; & 15 \leq \text{azimut} \leq 105 \\ 1; & \text{azimut} > 105 \end{cases} \quad (21)$$

Función del factor de sombra de una lama vertical inclinada 60° en el Sur-Este

Los valores que hemos definido del factor de sombra cuando el ángulo azimut evoluciona desde -15 a -105° para el caso de las lamas verticales para la orientación Sur-Este son los siguientes:

Ángulo azimut [°]	Factor de sombra [tanto por uno]
-105	1
-90	0,8
-60	0,6
-30	0,5
-15	0

Tabla 20. Valores definidos para la creación de la recta de la lama vertical Sur-Oeste

La función del factor de sombra resultante para todos los rangos de valores es:

$$f(\text{azimut}) = \begin{cases} 0; & \text{azimut} > (-15) \\ -0,0107 \cdot \text{azimut} - 0,1147; & (-105) \leq \text{azimut} \leq (-15) \\ 1; & \text{centit} > (-105) \end{cases} \quad (22)$$

Función del factor de sombra de una lama horizontal inclinada 60°

En el caso de las lamas horizontales, también hemos definido la función del factor de sombra en función del ángulo cenit, como en el caso del toldo solar.

Los valores definidos para el factor de sombra cuando el ángulo cenital toma valores desde 70 a 100° son los siguientes:

Ángulo cenit [°]	Factor de sombra [tanto por uno]
70	0
80	0,2
90	0,3
100	0,4

Tabla 21. Valores definidos para la creación de la recta de la lama horizontal.

La función del factor de sombra resultante para todos los rangos de valores es:

$$f(\text{cenit}) = \begin{cases} 0; & \text{cenit} < 70 \\ 0,013 \cdot \text{cenit} - 0,88; & 70 \leq \text{azimut} \leq 100 \\ 1; & \text{cenit} > 100 \end{cases} \quad (23)$$

Utilizaremos lamas verticales inclinadas 60° para las orientaciones Sur-Este y Sur-Oeste y las lamas horizontales inclinadas 60° para la orientación Sur.

Dichos ángulos han sido escogidos ya que suponen el menor factor de sombra y por lo tanto producen la mayor reducción de la radiación solar.

La activación de todas las lamas se realizará exclusivamente en los meses en los cuales necesitemos el sistema de refrigeración.

A continuación observaremos la radiación global recibida para cada orientación el 20 de julio y la compararemos con la original, en la cual no tenemos ningún elemento de sombra. Hemos analizado la radiación global porque el 100% del tiempo las lamas verticales reciben radiación difusa, debido a la inclinación que hemos fijado y solo durante los meses de invierno y otoño durante un corto periodo de tiempo recibimos radiación directa para el caso de las lamas horizontal, pero en este periodo de tiempo las lamas permanecen completamente abiertas, permitiendo la entrada total de la radiación para contribuir favorablemente a la calefacción.

- **Lama vertical inclinada 60° para orientación Sur-Oeste**

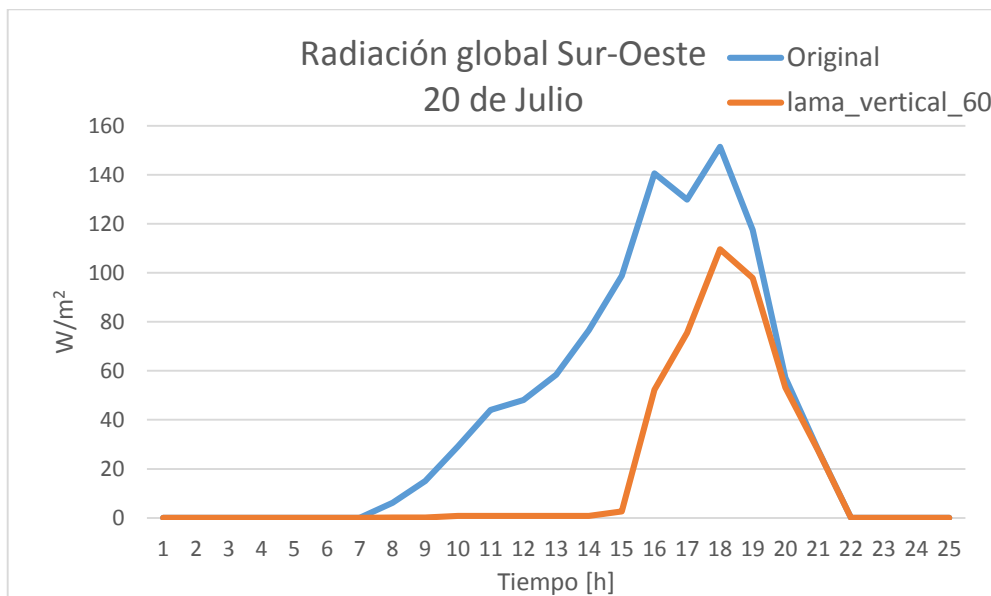


Gráfico 17. Radiación global en el Sur-Oeste el 20 de julio.

Como podemos observar en la anterior representación, gracias a la implementación de las lamas verticales en los cerramientos orientados hacia el Sur-Oeste, empezamos a recibir radiación a partir de las 15h, en vez de recibir radiación desde las 7h. También se

puede observar como cuando el sol alcanza el Oeste, a las 20h recibimos el 100% de la radiación, pero en ese momento no existe personal, por lo tanto la refrigeración esta desactivada.

- **Lama vertical inclinada 60° para orientación Sur-Este**

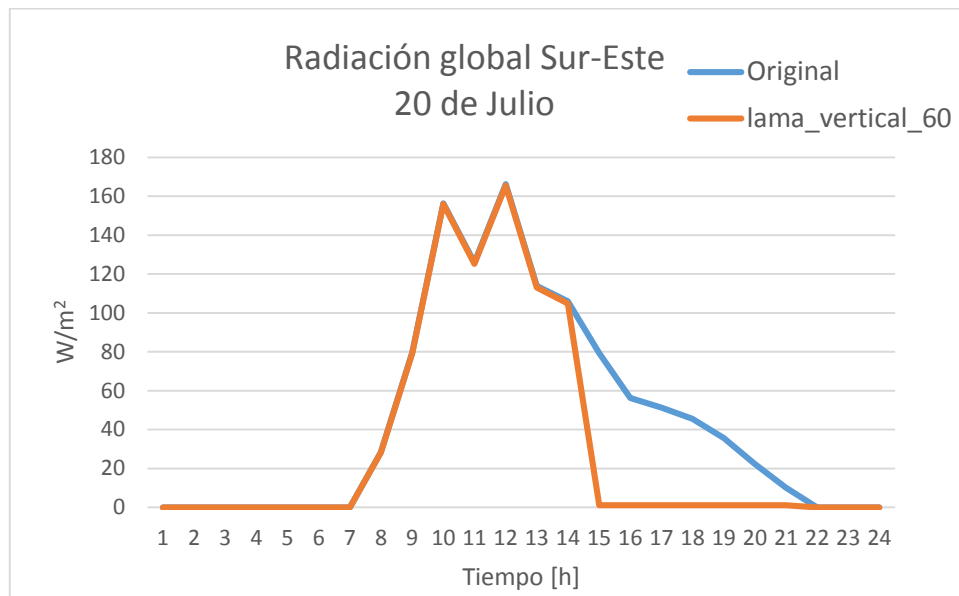


Gráfico 18. Radiación global en el Sur-Este el 20 de julio.

Al contrario que ocurría en la lamas situadas en la orientación Sur-Oeste, cuando nos encontramos en los cerramientos orientados al Sur-Este la radiación atraviesa nuestra zona hasta las 15h, momento en el cual ya no recibimos radiación.

- **Lama horizontal inclinada 60° para orientación Sur**

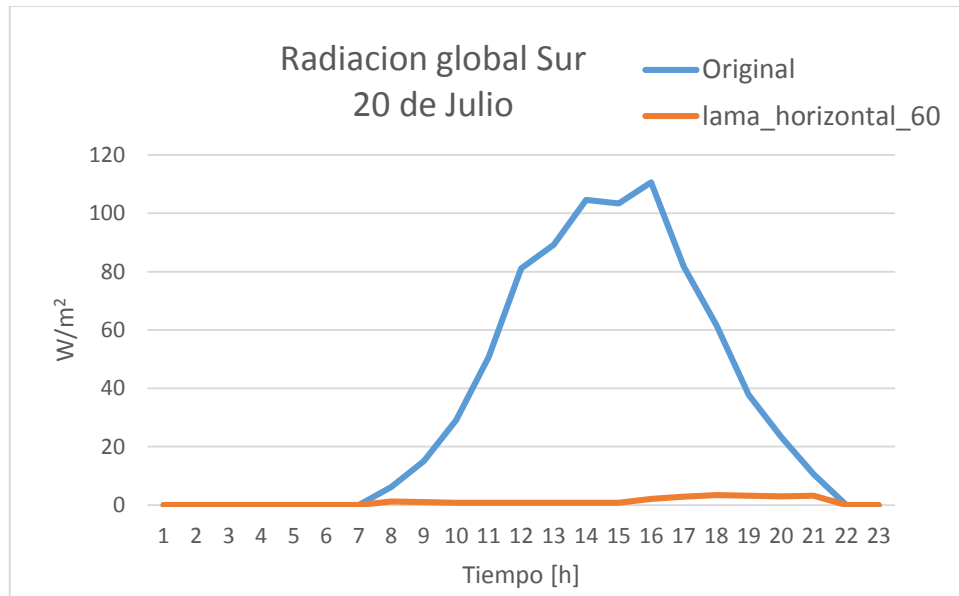


Gráfico 19. Radiación global recibida en el Sur el 20 de julio.

Como en el análisis del toldo solar, la radiación que recibimos en el caso de una lama horizontal orientada al Sur es prácticamente nula cuando colocamos una lama horizontal.

A continuación mostramos la tabla comparativa con los valores de las demandas obtenidas cuando simulamos el conjunto de lamas en nuestros cerramientos.

	Refrigeración [kWh/m² año]	Calefacción [kWh/m² año]	Total [kWh/m² año]
Original	68,39	6,55	74,95
Lamas	34,69	6,55	41,24

Tabla 22. Demandas totales del caso original y con lamas.

Como podemos observar la solución de las lamas resulta muy efectiva reduciendo la demanda de refrigeración en un 49% respecto a la original.

La demanda de calefacción permanece invariable debido a que el sistema de lamas permite su control y por lo tanto sólo se activará para los meses en los que necesitemos la refrigeración para permitir la entrada de radiación solar en los meses donde tengamos activado la calefacción.

Resultados obtenidos para los distintos sistemas de sombreado

Mediante la siguiente tabla seleccionaremos la medida de sombreado más apropiada de todas las analizadas anteriormente.

Medida	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Situación original	68,39	6,55	74,94
Voladizo 2 m	50,95	6,93	57,88
Toldo solar	14,82	6,55	21,37
Lamas verticales y horizontales	34,69	6,55	41,24

Tabla 23. Comparativa de las soluciones alternativas para sistemas de sombreado

Si nos fijamos en los resultados expresados en la anterior tabla concluimos en que la introducción del **toldo solar** es la solución con la cual obtenemos una reducción del 78% de la demanda de refrigeración.

4.1.3 Reducción de las superficies acristaladas

En el siguiente apartado analizaremos el caso teórico en el que redujéramos en un 100, 50 y un 25% la superficie ocupada por los cerramientos acristalados y utilizáramos un muro de fachada con aislamiento.

Dicha solución no será adoptada ya que conllevaría una gran modificación de la envolvente y hemos decidimos mantener los cerramientos de vidrio para el aprovechamiento de la luz natural.

Los materiales están representados de tal manera que el primero corresponde con la cara exterior del muro. Las características de los materiales utilizados han sido obtenidas del Código Técnico de Edificación (CTE).

- **Muro composición 1:**

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

$$\text{Peso} = 292 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Espesor total} = 20,5 \text{ cm}$$

Nº	Material	Espesor(m)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Peso (kg/m ²)
1	½ pie LM métrico 40mm	0,115	0,110	249,6
2	Mortero cemento	0,010	0,019	22,9
3	MW Lana mineral	0,060	1,935	2,4
4	Enlucido yeso	0,015	0,026	17,2

Tabla 24. Muro composición 1 utilizada en sustitución del cerramiento acristalado

Para ésta simulación tomaremos como situación inicial el sistema de vidrio simple absorbente y el sombreado interior inicialmente instalados.

Una vez realizada la simulación mediante Trnsys obtenemos los siguientes resultados:

	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Original	55,89	13,85	69,74
100% sup.ventanas	45,98	13,93	59,91
75% sup.ventanas	35,30	14,58	49,88
0% sup.ventanas	24,32	17,12	41,43

Tabla 25. Demandas totales según la superficie de los cerramientos acristalados

Como era de esperar, a medida que reducimos la superficie de ventanas la demanda de refrigeración disminuye hasta un máximo de un 56%, momento en el cual no disponemos de ningún cerramiento acristalado; y aumenta la calefacción en un 24% respecto a la situación inicial.

En resumen, si el edificio estudiado dispusiera de muros de fachada aislados exteriores en lugar de cerramientos acristalados tendría un 41% de la demanda energética inicial.

Como hemos comentado anteriormente este análisis lo hemos encontrado interesante de simular pero no será incluido para las mejoras posibles para la optimización de la demanda energética debido a la gran modificación de la envolvente y a la necesidad del usuario de conservar la luz natural.

4.1.4 Sistemas de ventilación

Para la **reducción de la demanda de refrigeración** analizaremos la influencia de la ventilación nocturna. La ventilación solo se realizará cuando el modo refrigeración este activado debido a las condiciones meteorológicas.

La ventilación la realizaremos para todas las zonas exteriores en contacto con el aire exterior, incluyendo la entrada de nuestro edificio. No hemos implementado la ventilación en las zonas interiores para evitar la complejidad a la hora de transportar el aire exterior a las zonas interiores mediante conductos de aire.

Estos son los perfiles de ventilación que hemos diseñado:

- Perfil 1: ventilación nocturna de 6:00-8:00h con un caudal de 10 ren/h
- Perfil 2: ventilación nocturna de 6:00-8:00h con un caudal de 20 ren/h
- Perfil 3: ventilación nocturna de 6:00-8:00h con un caudal de 30 ren/h

Para la simulación de todos los sistemas hemos incluido las mejoras de vidrios (vidrio doble bajo emisivo) y la implementación de sistemas de sombreado (toldo solar).

En primer lugar vamos a observar el efecto de la ventilación nocturna en la evolución de la temperatura interior. Para ello elegiremos la zona de la oficina para el 14 de julio.

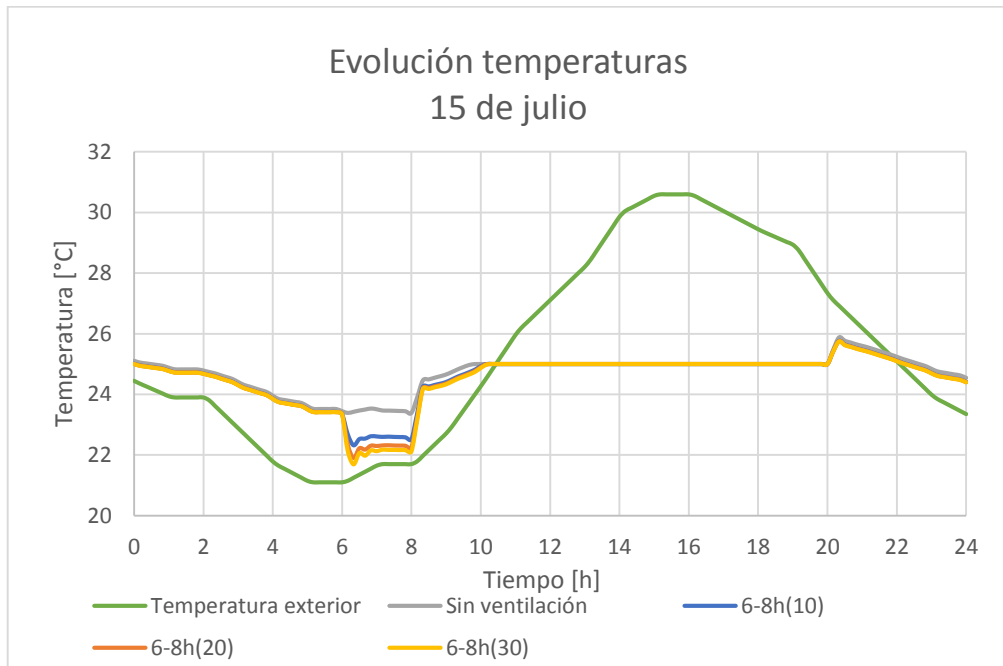


Gráfico 20. Evolución de la temperatura interior de la oficina según el tipo de ventilación nocturna

Gracias al anterior gráfico podemos obtener tres conclusiones. La primera corresponde a la duración de la ventilación, donde podemos observar como con 2 horas de ventilación es suficiente para reducir la temperatura interior dos grados centígrados. La segunda conclusión que obtenemos al observar el gráfico es el efecto de la entrada de personal y el consiguiente efecto producido por la iluminación y todas las cargas térmicas que se produce a las 8:00h, momento a partir del cual la temperatura comienza a ascender con gran pendiente. Esto se debe también al hecho de disponer de cerramientos acristalados los cuales tienen una baja inercia térmica la cual provoca que la temperatura exterior se iguale a la interior muy rápidamente. Por último podemos predecir que el efecto de la ventilación nocturna no será muy notorio en la reducción de la refrigeración, ya que la evolución entre ellos es muy similar, alcanzando al mismo tiempo prácticamente la temperatura a la cual la refrigeración se activa, es decir a los 25°C.

En la siguiente tabla se representan las demandas totales de nuestro edificio según la implementación de los perfiles de ventilación nocturna.

Ventilación nocturna	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Original	14,48	6,55	21,03
6:00-8:00h (10ren/h)	13,37	6,55	19,92
6:00-8:00h (20ren/h)	13,21	6,55	19,76
6:00-8:00h (30ren/h)	13,11	6,55	19,66

Tabla 26. Demandas energéticas para cada tipo de ventilación nocturna simulada.

Mediante la tabla de resultados para cada perfil de ventilación nocturna observamos como la disminución de la demanda de refrigeración, no es muy significativa, esto se debe principalmente a que la temperatura interior aumenta rápidamente desde la entrada de personal y debido a nuestro horario de entrada y salida de personal el efecto no es suficientemente aprovechable.

La ventilación nocturna entre las 6:00-8:00h con un caudal de 30 renovaciones/hora supone un ahorro de un 9% en la refrigeración.

Esta medida es utilizada en grandes centros comerciales los cuales permanecen abiertos durante la noche, permitiendo una refrigeración sin ningún coste eléctrico salvo el de los ventiladores. Si nuestro edificio presentara un horario nocturno laboral el uso de la ventilación sería más significativa.

La combinación de la ventilación nocturna, unos cerramientos los cuales tuvieran suficiente masa como para ralentizar la entrada de calor al interior y un sistema de sombreamientos mediante toldos solares sería la opción más óptima.

Si deseamos que la temperatura exterior no se transmita tan rápidamente al interior de nuestras zonas se deberán emplear cerramientos con una mayor masa para aumentar así su inercia térmica y reducir la velocidad con la que transmiten el calor al interior

4.2 Evaluación de ventajas e inconvenientes de cada solución y determinación de la solución óptima

Las ventajas e inconvenientes principales que existen con las soluciones que hemos analizado y adoptado son:

Sustitución del vidrio simple absorbente por un vidrio doble bajo emisivo

La principal ventaja con esta solución es la reducción de la calefacción en un 25%.



En cambio el inconveniente que nos encontramos al implementar dicho vidrio es el aumento en la refrigeración en un 30%, debido principalmente al tratamiento óptico presente en el vidrio absorbente el cual absorbe un 51% de la radiación solar a diferencia del 23% de la radiación que absorbe el doble bajo emisivo.

Si tenemos en cuenta también el coste económico, este tipo de vidrios suponen un alto coste comparado con otras soluciones constructivas.

Toldo solar

Las ventajas que obtenemos con la instalación de toldos solares en todos los cerramientos acristalados exteriores son la reducción notable de la refrigeración hasta en un 78% y la posibilidad de control del sistema para aprovechar la radiación solar en los meses donde empleamos la calefacción.

El principal inconveniente se basa en la modificación de la estética exterior de nuestro edificio, inconveniente el cual no tendremos en cuenta para el presente estudio.

Ventilación nocturna

En el caso del aprovechamiento de las condiciones exteriores mediante la ventilación nocturna entre las 6:00-8:00h con un caudal de 30 ren/h, la ventaja que encontramos es la ligera reducción del 9% en la refrigeración simplemente introduciendo aire exterior durante dos horas antes de la entrada de personal. El inconveniente se basaría en el coste de los ventiladores que utilizaríamos para la entrada de dicho aire.

La solución óptima a la que hemos llegado se basa en la **combinación de las tres soluciones** para la optimización máxima de la demanda energética.

5 Resultados

En este apartado mostraremos los resultados detallados de la simulación de nuestro edificio una vez hemos implementado la solución óptima.

5.1 Demanda optimizada de calefacción y refrigeración

Los resultados que mostraremos a continuación hacen referencia a la demanda tanto de refrigeración como de calefacción total para cada zona climatizada de nuestro edificio y las demandas mensuales totales de nuestro edificio.

Zona climatizada	Original			Optimizada		
	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]	Refrigeración [kWh/m ² año]	Calefacción [kWh/m ² año]	Total [kWh/m ² año]
Sala reunión	1,63	0,01	1,64	1,13	0,01	1,14
Despacho1	13,77	2,69	16,46	2,08	0,56	2,63
Despacho2	6,93	3,15	10,08	1,25	1,30	2,55
Despacho3	8,7	2,86	11,56	2,02	1,12	3,14
Oficina	23,71	2,95	26,66	6,15	0,57	6,72
Distribuidor	1,15	2,19	3,35	0,48	1,26	1,74
Total	55,89	13,85	69,74	13,11	4,82	17,93

Tabla 27. Resultado de la optimización de las demandas energéticas para cada zona climatizada

Según la anterior tabla observamos como la principal reducción se ha producido en la demanda energética total anual de la zona correspondiente a la oficina, debido a que era la zona con mayores ganancias térmicas principalmente debido a la radiación solar y al tratarse de la zona con mayor superficie.

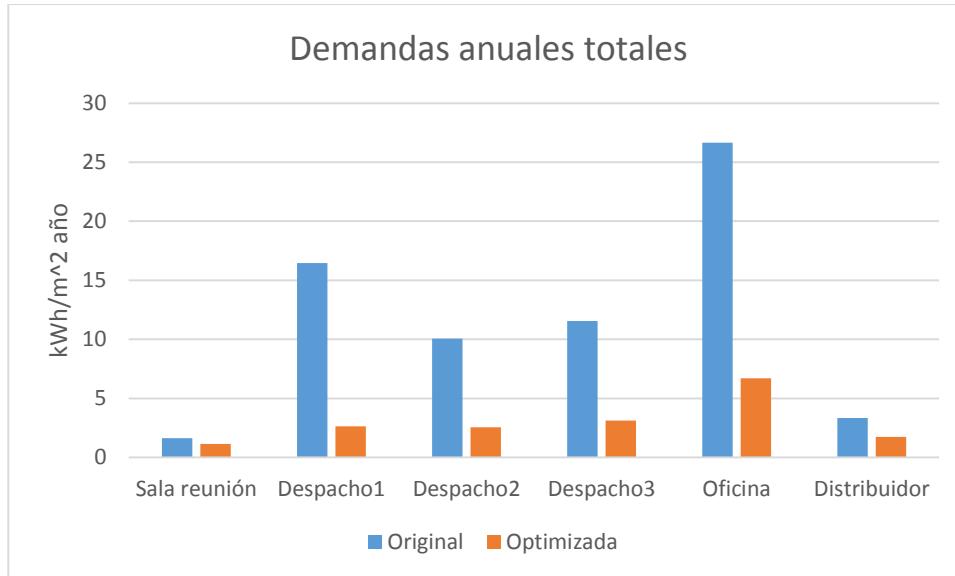


Gráfico 21. Comparación de la demanda total de las zonas climatizadas

Mediante el anterior gráfico podemos observar cómo hemos equilibrado y optimizado la demanda energética total de cada zona al máximo. La máxima optimización conseguida asciende a un 75% para la zona correspondiente a la oficina.

A continuación mostraremos las demandas totales mensuales.

Zona climatizada	Original			Optimizada		
	Refrigeración [kWh/m² año]	Calefacción [kWh/m² año]	Total [kWh/m² año]	Refrigeración [kWh/m² año]	Calefacción [kWh/m² año]	Total [kWh/m² año]
Enero	0,00	4,50	4,50	0,00	1,90	1,90
Febrero	0,00	2,85	2,85	0,00	0,96	0,96
Marzo	0,00	1,79	1,79	0,00	0,41	0,41
Abril	0,62	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00
Mayo	2,73	0,00	2,73	0,01	0,00	0,01
Junio	6,80	0,00	6,80	1,23	0,00	1,23
Julio	13,52	0,00	13,52	4,54	0,00	4,54
Agosto	16,37	0,00	16,37	5,68	0,00	5,68
Septiembre	10,30	0,00	10,30	1,59	0,00	1,59
Octubre	5,54	0,00	5,54	0,06	0,00	0,06
Noviembre	0,00	1,24	1,24	0,00	0,31	0,31
Diciembre	0,00	3,47	3,47	0,00	1,23	1,23
Total	55,89	13,85	69,74	13,11	4,82	17,93

Tabla 28. Resultados de la optimización de las demandas energéticas para cada mes del año.

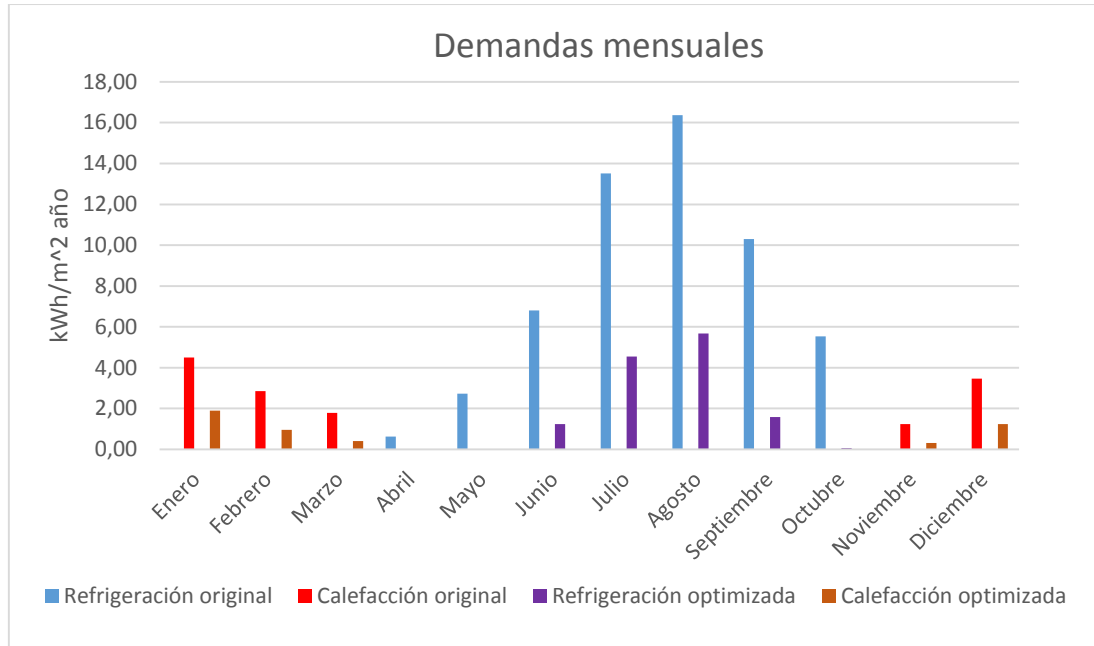


Gráfico 22. Comparación de la demanda de refrigeración mensual después de la optimización.

Una vez realizada la optimización, observamos que agosto continúa siendo el mes del año donde la demanda de refrigeración es mayor ($5,68 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$) y el mes donde la demanda de calefacción es mayor corresponde al mes de enero ($1,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$).

5.2 Radiación solar recibida por los cerramientos exteriores

La radiación solar total que nuestros cerramientos exteriores absorben durante todo el año era el principal objetivo que buscábamos reducir. Debido a la implementación del elemento de sombra, la radiación ha sufrido una severa reducción para los meses donde es necesaria la refrigeración, ya que para los meses donde empleamos la calefacción el control de sombra será desactivado. Según el tipo de material y colocación podemos reducir la radiación recibida en un 95% respecto la original donde no empleamos ningún tipo de elemento para bloquear dicha radiación.

5.3 Temperaturas interiores

Mediante la representación de las temperaturas interiores podemos observar en que momentos se activa la refrigeración y la calefacción.

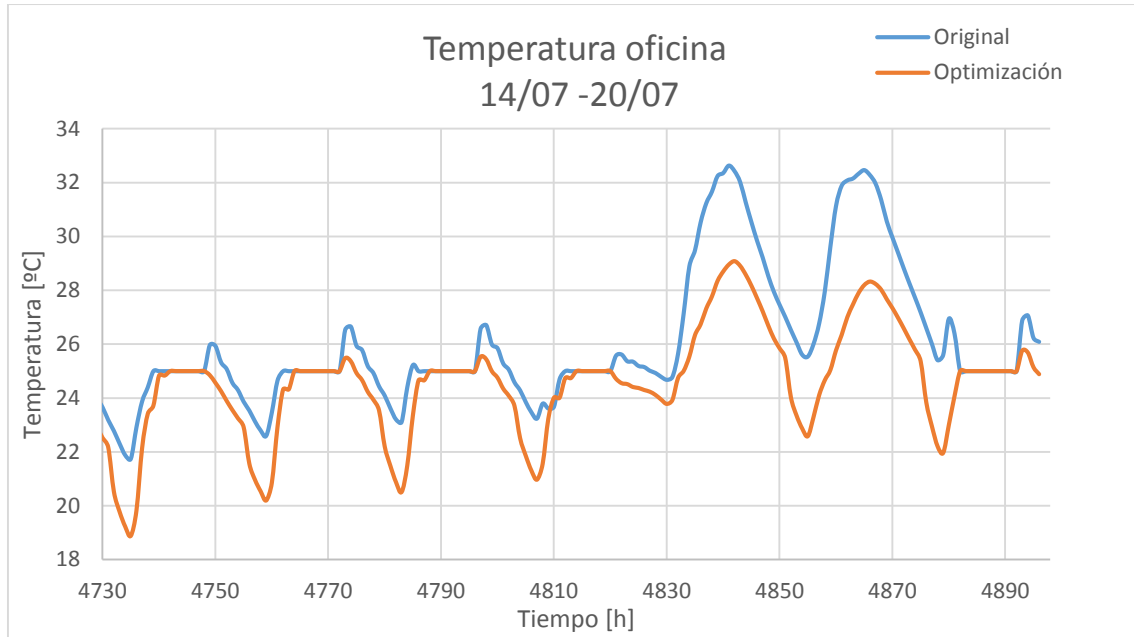


Gráfico 23. Resultado de la evolución de la temperatura interior para la tercera semana de julio.

Mediante el anterior gráfico observamos como para el mes de julio la refrigeración estará en funcionamiento la mayor parte del tiempo para la zona de la oficina, aunque se activará durante un menor periodo de tiempo en comparación con la evolución de la temperatura original.

5.4 Ahorro energético

En este apartado observaremos el porcentaje equivalente a la reducción de nuestra demanda en refrigeración. La calefacción no ha sido optimizada, por lo tanto no consideramos ningún ahorro en la demanda de calefacción.

Mes	Total [kWh/m ² año]		Ahorro [%]
	Original	Optimización	
Enero	4,50	1,90	57,72
Febrero	2,85	0,96	66,22
Marzo	1,79	0,41	76,94
Abril	0,62	0,00	100,00
Mayo	2,73	0,01	99,64
Junio	6,80	1,23	81,85
Julio	13,52	4,54	66,41
Agosto	16,37	5,68	65,33
Septiembre	10,30	1,59	84,60

Octubre	5,54	0,06	98,88
Noviembre	1,24	0,31	74,98
Diciembre	3,47	1,23	64,50
Total	69,74	17,93	74,29

Tabla 29. Porcentaje del ahorro mensual y anual en la refrigeración

En la anterior gráfica observamos cómo hemos generado un ahorro energético total anual equivalente al 74%.

5.5 Ahorro económico

Para estimar el ahorro económico que supondría la implementación de las soluciones adoptadas deberíamos calcular el consumo eléctrico de la enfriadora para cada instante de tiempo, lo que conlleva conocer cuál es la eficiencia real para cada instante, ya que ésta varía según las condiciones de funcionamiento. Debido a que no tenemos la capacidad para conocer la eficiencia real, utilizaremos un valor aproximado para la eficiencia, o también conocida como COP (Coefficient of Performance), de la enfriadora para el modo de refrigeración y calefacción igual a 3.

En la siguiente ecuación se muestra una aproximación del consumo eléctrico que supondría la refrigeración y la calefacción de nuestro edificio.

$$\text{Consumo eléctrico estimado} = \frac{\text{Demanda térmica}}{COP} \quad (24)$$

donde:

Consumo eléctrico estimado: aproximación del consumo eléctrico para una demanda y un COP determinados [kWh]

Demanda térmica: energía térmica necesaria para mantener unas condiciones de confort determinadas [kWh]

COP: eficiencia para una máquina frigorífica

Si empleamos la anterior ecuación para cada mes del año obtendremos el consumo eléctrico mensual.

Mes	Total [kWh]	
	Original	Optimización
Enero	227,55	96,21
Febrero	144,12	48,67
Marzo	90,51	20,88
Abril	31,35	0,00
Mayo	138,05	0,50
Junio	343,85	62,41
Julio	683,66	229,65
Agosto	827,78	287,03
Septiembre	520,84	80,19
Octubre	280,14	3,15
Noviembre	62,70	15,69
Diciembre	175,47	62,29
Total	3526,52	906,67

Tabla 30. Coste eléctrico mensual

Una vez hemos estimado el consumo eléctrico mensual podemos conocer el gasto económico debido al consumo eléctrico según el tipo de tarifa eléctrica.

Actualmente la industria tiene contratada la tarifa para alta tensión 6.1A, es decir con seis periodos tarifarios donde el coste del kWh es distinto según la franja horaria y el mes del año en el que se produzca el consumo. En el Anexo 4 se adjuntan los costes eléctricos para las distintas tarifas eléctricas.

La distribución de los periodos para la tarifa 6.1A también ha sido adjuntada en el Anexo 4 de la memoria.

Una vez conocidos los consumos eléctricos y el coste energético para cada periodo del año según el tipo de tarifa, podemos calcular el coste económico para la situación inicial y para la situación optimizada en la que hemos aplicado la solución óptima.

	Inicial [€]	Optimizada [€]	Ahorro [€]
Enero	178,74	64,96	113,78
Febrero	19,72	5,43	14,29
Marzo	13,70	2,30	11,40
Abril	2,42	0,00	2,42
Mayo	10,56	0,04	10,52
Junio	184,16	34,24	149,92
Julio	339,51	120,21	219,30
Agosto	410,20	148,46	261,74
Septiembre	273,73	49,71	224,02
Octubre	167,28	2,44	164,84
Noviembre	10,29	1,72	8,58
Diciembre	22,79	6,95	15,84
ANUAL	1633,10	436,45	1196,65

Tabla 31. Coste económico mensual

Finalmente, mediante las estimaciones realizadas para obtener el coste económico necesario para climatizar nuestro edificio hemos calculado un ahorro de **1196,65 euros anuales**, es decir un 73% del coste inicial.

En el cálculo del ahorro económico no hemos tenido en cuenta el presupuesto de las medidas a adoptar.



6 Conclusiones

Mediante el análisis energético realizado para el edificio en cuestión hemos observado la gran capacidad de actuación. En primer lugar, en la mejora del confort del usuario a lo largo de todo el año el cual sufrirá en menor medida la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior. En segundo lugar, en la variedad de medidas para mejorar la envolvente térmica que existen, según las características de nuestro edificio y según el objetivo que queramos conseguir con ellas.

Respecto al modelo que hemos configurado para que se asemejara al edificio que hemos estudiado, hay que destacar que aunque hemos aproximado al máximo las características y configuraciones del mismo, sería necesario una validación del mismo mediante la medición durante un periodo de tiempo de las condiciones interiores y poder verificarlas con las obtenidas con el modelo creado en Trnsys.

Finalmente si observamos los resultados obtenidos son muy positivos, ya que hemos conseguido una reducción del 74% de la demanda anual debida a la calefacción y refrigeración del propio edificio. Este resultado es más importante que el ahorro económico, el cual si introducimos el coste económico de las mejoras adoptadas no resulta tan significativo. Otro aspecto al cual no le hemos prestado su debida importancia es la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera que son una consecuencia directa de la reducción de la demanda energética necesaria.



7 Bibliografía

- [1] <http://www.plastisax.com/empresa/>
- [2] http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_18_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_por_agua_ed78f988.pdf
- [3] <http://procesosbio.wikispaces.com/Carta+Psicrom%C3%A9trica>
- [4] <http://web.mit.edu/parmstr/Public/TRNSYS/04-MathematicalReference.pdf>
- [5] <http://www.codigotecnico.org/index.php/es/menu-ahorro-energia>
- [6] http://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/legislacio/CTE_DB_HE.pdf
- [7] <http://ventanasinfo.com/vidrios-para-ventanas/>
- [8] <http://www.qualumsign.com>
- [9] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/DIAGRAMA.PSICROMETRICO.CONDENSACIONES.pdf>
- [10] <http://www.coac.net/mediambient/Life/I3/I3230.htm>
- [11] <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=14>
- [12] http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf
- [13] https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf
- [14] <http://www.indeso.es/Calendario%206.1A%202015%20Peninsular.pdf>

8 Anexos

8.1 Anexo 1

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

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Tabla 32. Transmitancias límite para la zona climática B3

8.2 Anexo 2

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T_{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR_{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T_{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR_{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T_{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR_{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Avila	T_{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR_{med}	75	70	62	61	55	50	39	40	50	65	73	77
Badajoz	T_{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR_{med}	80	76	69	66	60	55	50	50	57	68	77	82
Barcelona	T_{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR_{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71
Bilbao	T_{med}	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
	HR_{med}	73	70	70	72	71	72	73	75	74	74	74	74
Burgos	T_{med}	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
	HR_{med}	86	80	73	72	69	67	61	62	67	76	83	86
Caceres	T_{med}	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
	HR_{med}	78	73	63	60	55	44	37	39	49	65	76	80
Cádiz	T_{med}	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
	HR_{med}	77	75	70	71	71	70	69	69	70	73	76	77
Castellón	T_{med}	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
	HR_{med}	68	66	64	66	67	66	66	69	71	71	73	69
Ceuta	T_{med}	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
	HR_{med}	87	87	88	87	87	87	87	87	89	89	88	88
Ciudad Real	T_{med}	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
	HR_{med}	80	74	66	65	59	54	47	48	57	68	78	82
Córdoba	T_{med}	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
	HR_{med}	80	75	67	65	58	53	46	49	55	67	76	80
A Coruña	T_{med}	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
	HR_{med}	77	76	74	76	78	79	79	79	79	79	79	78
Cuenca	T_{med}	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR_{med}	78	73	64	62	58	54	44	46	56	68	76	79
Girona	T_{med}	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
	HR_{med}	77	73	71	71	70	67	62	68	72	76	77	75
Granada	T_{med}	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
	HR_{med}	76	71	64	61	56	49	42	42	53	62	73	77
Guadalajara	T_{med}	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
	HR_{med}	80	76	69	68	67	62	53	54	61	72	79	81
Huelva	T_{med}	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
	HR_{med}	76	72	66	63	60	59	54	54	60	67	72	75
Huesca	T_{med}	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
	HR_{med}	80	73	64	63	60	56	48	53	61	70	78	81
Jaén	T_{med}	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
	HR_{med}	77	72	67	64	59	53	44	45	55	67	75	77

Tabla 33. Condiciones exteriores para distintas localidades según el apéndice C del DA-DB-HE-2

8.3 Anexo 3

Compresor Scroll (7-42 kW)

CSAE 25 - 151

- Estructura:** De tipo autoportante, realizada en peralman y acero galvanizado. Tornillería en acero inoxidable. Los paneles desmontables permiten un fácil acceso al interior de la unidad para el mantenimiento o reparaciones.
- Compresores:** De tipo Scroll hermético con protección interna térmica (klixon) y resistencia de cartier.
- Ventiladores:** De tipo axial de bajas revoluciones y perfil de alabes especiales, acoplados directamente a motor de rotor externo con grado de protección IP54. Disponen una rejilla de protección acoplada a la impulsión.
- Condensador:** Constituido mediante batería de tubería de cobre con aletas de aluminio.
- Evaporador:** De placas en acero inoxidable AISI 316, aislado externamente con material flexible en células cerradas. La versión bomba de calor dispone de serie la resistencia anti-hielo.
- Circuito frigorífico:** El circuito, realizado en tubo de cobre, incluye filtro deshidratador, válvula de expansión, preestato de alta con rearme manual, preestato de baja con rearme automático (modelos 81-151) y visor de líquido y humedad (modelos 81-151).
- Circuito hidráulico:** El circuito, realizado en tubo de cobre, incluye: preestato diferencial de agua y válvula de purga de aire manual.
- Quadro eléctrico:** Los componentes eléctricos incluidos en el equipo son los siguientes:
 - Interruptor general con bloqueo de puerta
 - Fusibles
 - Contactor de compresor
 - Contactor para bomba (modelos 41-151)
- Microprocesador:** Para la gestión automática de las siguientes funciones:
 - Regulación de la temperatura del agua
 - Protección anti-hielo
 - Temporización de los compresores
 - Rearme de alarmas
 - Contactos libres de potencial para la señalización de alarmas y cambio de ciclo para equipos bomba de calor.
 - Visualización del ciclo de funcionamiento, situación del compresor, temperatura del agua de retorno, temperatura de consigna, diferencial establecido y códigos de alarma.

Características técnicas

MODELOS		CSAE 25	CSAE 31	CSAE 41	CSAE 51	CSAE 61	CSAE 71	CSAE 81	CSAE 91	CSAE 101	CSAE 125	CSAE 151
Potencia frigorífica	kW/h	6360	1488	3030	11270	13300	15220	16630	23470	25748	28330	38120
Potencia frigorífica	kW	742	177	358	1331	1577	1813	1995	2816	3089	3400	4579
Potencia calorífica	kW/h	1480	3030	6060	22540	26660	30780	33900	47140	51260	56380	75120
Potencia calorífica	kW	177	358	716	2666	3199	3591	4011	5519	6052	6623	8815
Compresores	nº	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nivel sonoro	dB(A)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Dimensiones (versión estándar) ancho		mm	875	900	1100	1160	1160	1160	1360	1360	1360	1560
Dimensiones (versión estándar) alto		mm	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
Peso (versión estándar)		kg	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Temperatura		°C	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11	22/11
Consumo eléctrico frío		kW	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Consumo eléctrico calor		kW	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Alimentación eléctrica		A	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Intensidad máxima		A	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Evaporador		litro	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	1.1	1.3	1.5	2.0
Presión de carga		kPa	20	18	20	27	28	21	27	27	27	27
Condensador		placas	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Válvulas		nº	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2
Condensador		placas	0.90	0.90	1.04	1.18	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Válvula SP		litro	0.19	0.19	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Presión disponible		kPa	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Volumen cil. depósito		litro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Visor de depósito		nº	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Condiciones hidráulicas		litro	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Modelo de bomba de calor estándar de serie. Condiciones refrigeración Agua de 12 a 17°C, aire exterior T_{ext} = 35°C. Condiciones calefacción Agua de 42 a 45°C, aire exterior T_{ext} = 5°C.

Plantas enfriadoras aire-agua



ACCESORIOS OPCIONALES

- Control de condensación
- Bomba de circulación
- Preestato de baja presión (modelos 25-71)
- Panel de control remoto
- Conexión puerto serie
- Antivibración
- Rejilla de protección de la batería

VERSIONES:

- CSAE Sólido frío (estándar)
- CSAE/WP Bomba de calor
- CSAE/SP Kit hidráulico (bomba, depósito y vaso de expansión)

Modelos

		25	31	41	51	61	71	81	91	101	125	151
Full-generato	Código	RA25C	RA31C	RA41C	RA51C	RA61C	RA71C	RA81C	RA91C	RA101C	RA125C	RA151C
	Precio Ref.	3.774	5.864	6.794	8.360	4.885	4.479	5.010	6.085	6.630	7.465	8.274
	Precio Ref.	3.225	5.475	4.355	4.515	4.800	5.025	6.380	6.085	7.840	8.565	9.275
CSAE	Código	SC25E001	SC31E002	SC41E003	SC51E004	SC61E005	SC71E006	SC81E007	SC91E008	SC101E009	SC125E010	SC151E011
	Precio Ref.	3.355	5.765	4.595	4.880	5.035	5.375	6.485	6.090	7.255	8.045	8.375
	Precio Ref.	3.355	5.765	4.595	4.880	5.035	5.375	6.485	6.090	7.255	8.045	8.375
CSAE/SP	Código	SC25E001	SC31E002	SC41E003	SC51E004	SC61E005	SC71E006	SC81E007	SC91E008	SC101E009	SC125E010	SC151E011
	Precio Ref.	4.940	4.250	5.295	5.425	5.775	5.940	7.270	7.850	8.800	9.625	10.875
	Precio Ref.	4.940	4.250	5.295	5.425	5.775	5.940	7.270	7.850	8.800	9.625	10.875
Bomba de circulación	Código	3CE001			3CE003		3CE003		3CE003		3CE004	3CE005
	Precio Ref.	300			300		300		400		460	465
	Precio Ref.	300			300		300		400		460	465
Control condensación	Código			3CC001				3CC002			3CC002	3CC002
	Precio Ref.			120				150			165	165
	Precio Ref.			120				150			165	165
Módulo hidráulico	Código				3CE002							
	Precio Ref.				710							
	Precio Ref.				710							
Panel control remoto	Código									3CC010		
	Precio Ref.									120		
	Precio Ref.									120		

Nota: La bomba de circulación se puede utilizar como bomba suplementaria en la versión SP. El módulo hidráulico estándar está compuesto por un depósito de acumulación (20 x 80 L) y un vaso de expansión. No incluye batería de condensación. Los precios se refieren a unidades separadas.

8.4 Anexo 4

	Colectivo de aplicación	Te [€/kWh]					
		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
6.1A	1 kV < T ≤ 30 kV	0,028674	0,019921	0,010615	0,005283	0,003411	0,002137
6.1B	30 kV < T ≤ 36 kV	0,023381	0,017462	0,009308	0,004831	0,002990	0,001871
6.2	36 kV < T ≤ 72,5 kV	0,015587	0,011841	0,008204	0,003087	0,001993	0,001247
6.3	72,5 kV < T ≤ 145 kV	0,015048	0,011237	0,005987	0,002979	0,001924	0,001208
6.4	T > 145 kV	0,008465	0,007022	0,004025	0,002285	0,001475	0,001018
6.5	Conexiones internacionales	0,008465	0,007022	0,004025	0,002285	0,001475	0,001018

Calendario Energético 2015 Peninsular

Tarifa 6.1A



	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24
Enero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Febrero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Marzo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Abril	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Mayo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
2ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Julio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2
Agosto, Sab, Dom y Festivos Nacionales	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
Septiembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
Octubre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Noviembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4
Diciembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2



9 Presupuesto del estudio

Nº	Descripción	Precio hora	Horas	Coste
1	Desplazamiento a la industria y adquisición de datos	20 €	6	120 €
2	Configuración del modelo en Trnsys	20 €	150	3000 €
3	Simulación, análisis y comprobación de las modificaciones introducidas al modelo inicial	20 €	48	96 €
4	Redacción de la memoria del proyecto	20 €	50	100 €
5	Búsqueda de información	20 €	20	400 €
TOTAL (IVA incl)=				3716 €