



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

ANÁLISIS DEL USO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

Autor: Álvaro Díaz García
Director: Elías Gómez López

Madrid
Agosto 2018



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Álvaro Díaz García, como alumno de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS, declara ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ANÁLISIS DEL USO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN UN EDIFICIO DE OFICINAS, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma.
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no

conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 28 de agosto de 2018

ACEPTA



Fdo. Álvaro Díaz García



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

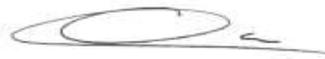
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

ANÁLISIS DEL USO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso

académico **2017-2018** es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro Díaz García

Fecha: 28/08/2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Elías Gómez López

Fecha: 28/08/2018



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

RESUMEN DEL PROYECTO

La lucha contra el cambio climático y la creciente conciencia mundial acerca de la sostenibilidad y eficiencia en la producción y consumo de energía afecta de forma notoria al mundo de la empresa. Cada vez son más las compañías del sector servicios que se comprometen con esta causa tomando medidas destinadas al consumo limpio y eficiente de sus edificios. Además, con las nuevas tecnologías estas medidas pueden ser rentables en el tiempo.

En este proyecto se ha analizado el uso y consumo de energía de un complejo de oficinas perteneciente a una compañía como las descritas, poniendo especial atención a la climatización. Estos edificios fueron construidos hace pocos años, siguiendo criterios de eficiencia y sostenibilidad, obteniendo la certificación LEED Oro. A priori se tratan de edificios muy eficientes en el consumo, pero la empresa dueña de estos edificios tiene un fuerte compromiso con la sostenibilidad en el consumo de energía y desea continuar reduciendo en la medida de lo posible tanto el consumo como las emisiones de CO₂.

El complejo dispone de 114.000 m² de oficinas y servicios. Entre las características más destacables de estos edificios, no relacionadas con el sistema de climatización, se encuentran:

- Acristalados con vidrio de alta reflectividad y lamas de fibra de vidrio, que da lugar a un 90% de espacios iluminados con luz natural. El resto de la iluminación se cubre con tecnología LED regulable y con control de presencia.
- Sistemas de generación renovable para autoconsumo. Energía solar fotovoltaica, energía solar térmica y energía geotérmica.
- Cubiertas vegetales que aumentan la resistencia térmica de los tejados.
- 138.000 m² de aparcamiento subterráneo con puntos de recarga gratuitos para vehículos eléctricos.

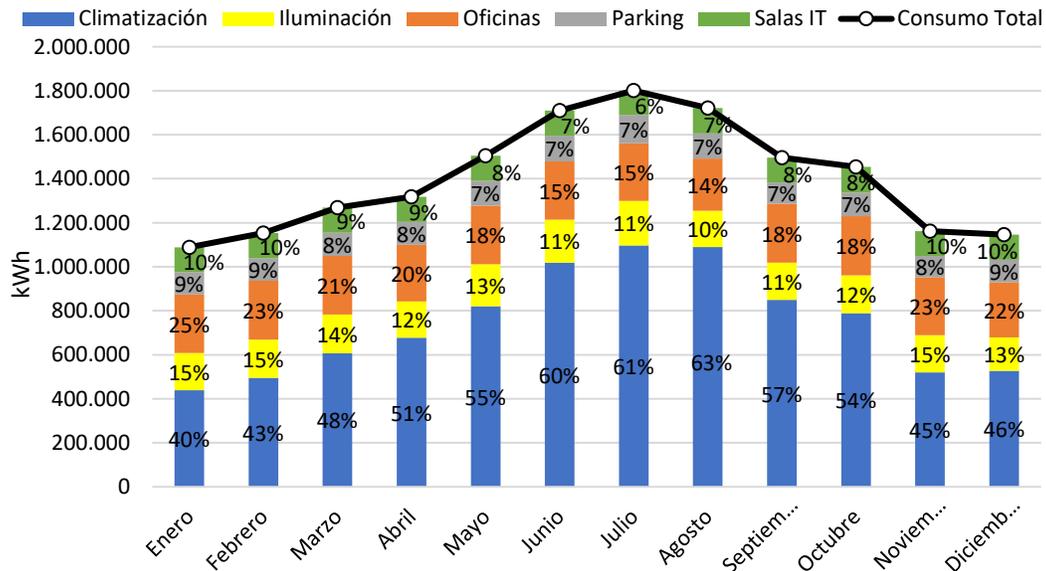
Con relación a los equipos climatización, los edificios emplean un sistema aire-agua con vigas frías activas. Las vigas frías son capaces tanto de refrigerar como calentar, y según un estudio genérico realizado en este proyecto, reducen en un 15% la energía consumida para climatización frente a dispositivos como fan coils. La potencia de refrigeración del complejo es de 16.300 kW, dividido entre nueve unidades frigoríficas. La mitad de la potencia frigorífica es proporcionada por equipos no demasiado eficientes (SEER≈4) mientras que la otra mitad aportada sí proviene de máquinas de alta eficiencia (SEER≈7). En cuanto a las unidades de tratamiento de aire o climatizadores, hay un total de 55 unidades. Estos equipos incorporan un

intercambiador de calor rotativo entálpico, capaz de recuperar calor sensible con una eficiencia del 78% y calor latente con una eficiencia del 76%.

Entrando en el estudio de la energía consumida, los edificios cuentan con sistemas de monitorización y teled medida. Se ha facilitado por parte de la compañía la información del consumo diario de energía eléctrica de la segunda mitad del año 2017. Además, han sido aportados los datos de ocupación y temperatura exterior diaria. Cabe destacar que la información del consumo de energía eléctrica diaria se encuentra segmentada en función de su uso. Estos usos son:

- Climatización.
- Iluminación.
- Oficinas.
- Aparcamiento.
- Salas IT.

Del análisis realizado se han extraído la conclusión de que la climatización es el consumo más importante determinado por la temperatura exterior, aumentando notablemente la carga de refrigeración en los meses de verano. La ocupación también afecta al consumo, pero en menor medida. Esto se puede ver en la siguiente figura.



El consumo total de energía asciende a 27.818.887 kWh/año, siendo la mayor parte electricidad y el resto gas natural dedicado a calefacción y ACS.

En cuanto a la eficiencia en el consumo, se ha comparado el complejo de edificios con el consumo de edificios de similares características funcionales pero equipados con tecnología convencional. Los resultados obtenidos indican que el ahorro producido por todas estas medidas es del orden del 40%. Se presentan en la siguiente tabla los indicadores.

	Consumo anual (kWh/m ²)		Emisiones (kgCO ₂ /m ²)	
	Total	Climatización	Total	Climatización
Complejo MOB	232,7	174,8	103,6	77,7
Edificio de Referencia	400,0	273,3	188,5	121,4
Índice de calificación	0,58	0,64	0,58	0,64

El análisis del coste de la energía refleja unos costes unitarios medios de 0,13 €/kWh de electricidad y 0,05 €/kWh de gas natural, asumiendo unos costes de 2.669.305 €/año. La volatilidad del precio de la electricidad unida a las emisiones de CO₂ debidas a su producción manifiestan la necesidad de buscar soluciones que reduzcan las emisiones y estabilice los costes.

Por último, habiendo estudiado las características de los edificios, sus sistemas de climatización, la energía anual consumida por sectores de uso y los costes asociados, se han examinado varias medidas de ahorro relacionadas tanto con la demanda de energía, costes y emisiones. Estas medidas se resumen en la siguiente tabla, junto con sus efectos estimados.

	Ahorro energía		Ahorro económico		Reducción CO ₂	
	kWh/año	%	€/año	%	kg/año	%
T_{int} = 25° C en verano	266.504	2,1	35.534	1,7	101.272	1,2
Ocupación agosto	130.737	0,8	12.902	0,6	49.680	0,6
PPA	-	-	-	-	6.392.994	72,5
Cogeneración	-	-	79.175	3,7	296.256	3,4



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

ABSTRACT

The fight against climate change and the growing global awareness of the sustainability and efficiency in the production and consumption of energy has big impact on businesses. Companies in the tertiary sector are beginning to commit themselves to this cause by taking measures aimed at being efficient and clean regarding the energy consumption of their buildings. In addition, with the past and upcoming advances in technologies these measures can be profitable over time.

Given this, the energy use and consumption of an office complex that belongs to a company as described above, focusing on heating, ventilation and air conditioning (HVAC). These buildings were built a few years ago, following efficiency and sustainability standards, earning a LEED Gold certification. Although these buildings are supposedly already very efficient, the owner of the complex has a strong commitment to sustainability in the energy consumption and wishes to continue lowering not also this consumption but also the CO₂ emissions.

The complex is composed of 114.000 m² dedicated to offices and services. Some of the most remarkable features of these buildings, not related to the HVAC system, are:

- The facades are composed of reflective coated glass and glass slats, which leads to a situation in which 90% of the spaces of the buildings are illuminated by the sun light. When there isn't enough sun light the source used to illuminate is LED lights. These LED lights are adjustable and there are occupancy sensors to avoid wasting electricity.
- There are renewable energy installations utilized for self-consumption. These systems are Photovoltaic solar energy, thermal solar energy and geothermal energy.
- Green roofs that improve the thermal performance by increasing the thermal resistance.
- 138.000 m² of underground parking that includes free electric vehicles charging points.

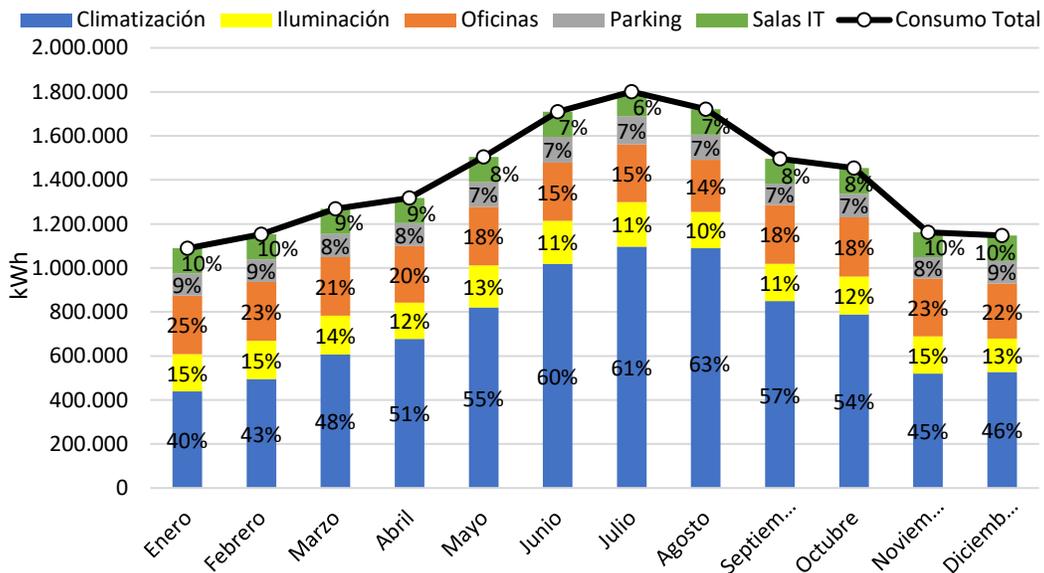
Regarding the HVAC technology, the buildings use an air-and-water system with chilled beams. The chilled beams can heat and chill at the same time, and according to a study carried in this project using OpenStudio there responsible of a 15% reduction in the HVAC energy consumption in comparison to fan coils. The cooling capacity of the whole complex is 16.300 kW, divided into nine different chillers. Half of the chillers are not as efficient as expected (ESEER≈4) while the other half are high-efficiency machines (ESEER≈7). There are also 55 air handling units (AHU). These

devices are equipped with a rotary enthalpy exchanger capable of recovering the 78% of sensible heat and 76% of latent heat.

Concerning the energy consumption analysis, the complex has a monitoring system. The company has provided the information of the daily electric energy consumption of the second half of 2017. In addition, outside temperature and occupancy of the buildings is provided as well. It's important to note that the data of the electricity consumed is segmented depending on its use, which can be the following:

- HVAC.
- Lighting.
- Offices.
- Parking.
- IT rooms.

The analysis reveals that HVAC consumption is the biggest one throughout the year and is strongly related to the outside temperature, specially in the summer due to the cooling loads. Occupation also affects the consumption, but not as much as the outside temperature. This can be appreciated in the following figure.



The total energy consumption is 27.818.887 kWh/year divided into electricity (biggest part) and natural gas used to heat and to get hot water.

In order to estimate the energy efficiency of the complex, the energy consumption and CO₂ emissions of its buildings has been compared to the ones produced by buildings with the same functional characteristics but equipped with conventional technology. The results indicate that the global energy savings caused by all the efficient measures is around 40%. The following table presents the results.

	Annual consumption (kWh/m ²)		Emissions (kgCO ₂ /m ²)	
	Total	HVAC	Total	HVAC
Complex studied	232,7	174,8	103,6	77,7
Reference building	400,0	273,3	188,5	121,4
Index	0,58	0,64	0,58	0,64

Energy costs have been also examined. Average unitary cost of electricity throughout the year is 0,13 €/kWh while for natural gas is 0,05 €/kWh. Total costs are 2.669.305 €/year. Electricity prices volatility and CO₂ emissions related to its production show the need of finding solutions to reduce the emissions and stabilize the costs.

Lastly, having studied the buildings characteristics, their HVAC system, annual energy consumed by end uses and the associated costs, some saving measures regarding energy demand, costs and emissions have been examined. These measures along their estimated effects are summed up in the table below.

	Energy savings		Costs savings		CO ₂ reduction	
	kWh/year	%	€/year	%	kg/year	%
T_{int} = 25° C in summer	266.504	2,1	35.534	1,7	101.272	1,2
August occupation	130.737	0,8	12.902	0,6	49.680	0,6
PPA	-	-	-	-	6.392.994	72,5
CHP	-	-	79.175	3,7	296.256	3,4



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

ANÁLISIS DEL USO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

Autor: Álvaro Díaz García
Director: Elías Gómez López

Madrid
Agosto 2018



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS



A mis padres, los faros de mi vida, sin vuestro esfuerzo y sacrificio no habría logrado llegar hasta aquí.

A Alicia, gracias por el apoyo y el cariño constante, contigo todo es mucho más sencillo.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

ÍNDICE

1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Situación	2
1.3. Horizonte	4
2. CARACTERÍSTICAS.....	7
2.1. Complejo.....	7
2.2. Edificios.....	8
2.3. Energías Renovables y Autoconsumo.....	9
3. CLIMATIZACIÓN.....	13
3.1. Sistema de Climatización	13
3.2. Vigas Frías	15
3.3. Unidades Frigoríficas	19
3.4. Climatizadores	24
3.5. Calderas	28
4. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA.....	31
4.1. Ocupación	31
4.2. Temperatura	33
4.3. Consumo Mensual.....	34
4.3.1. Julio	34
4.3.2. Agosto	37
4.3.3. Septiembre.....	40
4.3.4. Octubre	42
4.3.5. Noviembre	44
4.3.6. Diciembre.....	46
4.4. Análisis Completo del Consumo de Energía Eléctrica.....	48
4.5. Gas Natural	55
4.6. Conclusiones.....	57
5. ANÁLISIS DEL COSTE DE LA ENERGÍA	61
5.1. Coste Mensual	61
5.1.1. Julio	61
5.1.2. Agosto	62
5.1.3. Septiembre.....	63
5.1.4. Octubre	64
5.2. Análisis Completo	65
5.3. Conclusiones.....	67
6. MEDIDAS PROPUESTAS.....	69



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

6.1.	Aumentar Consigna de Temperatura Interior en Verano	69
6.2.	Distribución de Trabajadores en Agosto	75
6.3.	Nuevo Contrato de Electricidad.....	75
6.1.1.	Garantías de origen.....	76
6.1.2.	PPA.....	77
6.4.	Cogeneración.....	78
7.	CONCLUSIONES	83
8.	ANEXOS.....	85
8.1.	Características Placas Solares	85
8.2.	Características Vigas Frías.....	86
8.3.	Recuperador Rotativo de Energía.....	87
8.4.	Consumo de Energía Eléctrica.	88
8.5.	Coste de la Energía Eléctrica.....	94
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía en España según sector.	1
Figura 2. Consumo de Energía del Sector servicios según grupo.	3
Figura 3. Estructura del consumo de energía final en edificios de oficinas.	3
Figura 4. Características climatológicas del complejo.	7
Figura 5. Instalación geotérmica de lazo cerrado vertical.	10
Figura 6. Esquema de un sistema aire-agua con vigas frías.	14
Figura 7. Diferencia entre esquemas de climatización.	16
Figura 8. Consumo de energía según sistema de climatización.	16
Figura 9. Partes de una viga fría.	17
Figura 10. Distribución de las vigas frías.	18
Figura 11. Distribución de temperaturas en sala.	19
Figura 12. Monitorización del sistema de enfriamiento.	22
Figura 13. Monitorización de los climatizadores.	28
Figura 14. Ocupación total media de cada mes.	32
Figura 15. Ocupación media diaria de cada mes.	32
Figura 16. Temperatura media mensual.	33
Figura 17. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en julio.	34
Figura 18. Distribución del consumo según usos en julio.	36
Figura 19. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en agosto.	37
Figura 20. Relación entre consumo y temperatura en días laborables de agosto.	38
Figura 21. Distribución del consumo según usos en agosto.	39
Figura 22. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en septiembre.	40
Figura 23. Distribución del consumo según usos en septiembre.	41
Figura 24. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en octubre.	42
Figura 25. Distribución del consumo según usos en octubre.	43
Figura 26. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en noviembre.	44
Figura 27. Distribución del consumo según usos en noviembre.	45
Figura 28. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en diciembre.	46
Figura 29. Distribución del consumo según usos en diciembre.	47
Figura 30. Consumo total mensual del semestre.	48
Figura 31. Distribución del consumo mensual según su uso.	49
Figura 32. Regresión lineal consumo total-temperatura.	51
Figura 33. Distribución del consumo mensual del año completo según su uso.	54
Figura 34. Curva de carga del complejo.	56
Figura 35. Relación entre temperatura exterior y climatización.	57
Figura 36. Relación entre coste y energía en julio.	62

Figura 37. Relación entre coste y energía en agosto.....	63
Figura 38. Relación entre coste y energía en septiembre.....	64
Figura 39. Relación entre coste y energía en octubre.....	65
Figura 40. Evolución €/kWh.....	66
Figura 41. Evolución €/Ocupación.....	66
Figura 42. Plano de la planta analizada.....	70
Figura 43. Relación entre carga térmica y temperatura interior.....	74
Figura 44. Gestión de las garantías de origen.....	76
Figura 45. Esquema PPA financiero.....	77
Figura 46. Esquema de funcionamiento motor de gas en cogeneración.....	79
Figura 47. Flujo de cajas de la inversión en cogeneración.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de ahorro energético en oficinas.	4
Tabla 2. Especificaciones eléctricas de paneles fotovoltaicos.....	9
Tabla 3. Características de la instalación geotérmica.....	10
Tabla 4. Especificaciones de vigas frías según tipo de sala.	18
Tabla 5. Especificaciones de vigas según estación.	18
Tabla 6. Especificaciones técnicas unidad frigorífica AWS 313.2 PRLN.....	20
Tabla 7. Especificaciones eléctricas unidad frigorífica AWS 313.2 PRLN.	21
Tabla 8. Especificaciones técnicas unidad frigorífica AWS 445.3 XELN.....	21
Tabla 9. Especificaciones eléctricas unidad frigorífica AWS 445.3 XELN.....	22
Tabla 10. Especificaciones técnicas unidad frigorífica PFS 302.2 C XE ST.	23
Tabla 11. Número de climatizadores según tipo y zona.....	25
Tabla 12. Consumo total de energía según usos en julio.	36
Tabla 13. Ejemplo de climatización ineficiente.	38
Tabla 14. Consumo total de energía según usos en agosto.	40
Tabla 15. Consumo total de energía según usos en septiembre.....	42
Tabla 16. Consumo total de energía según usos en octubre.	44
Tabla 17. Consumo total de energía según usos en noviembre.	46
Tabla 18. Consumo total de energía según usos en diciembre.....	47
Tabla 19. Consumo total de energía mensual según usos.	50
Tabla 20. Valores pico de consumo según uso.....	50
Tabla 21. Parámetros del modelo de estimación de consumo mensual.	53
Tabla 22. Resultados del modelo de cálculo de consumo mensual.	53
Tabla 23. Comparación de indicadores de eficiencia.	59
Tabla 24. Resumen costes en julio.....	61
Tabla 25. Resumen costes en agosto.....	62
Tabla 26. Resumen costes en septiembre.....	63
Tabla 27. Resumen costes en octubre.....	64
Tabla 28. Resumen costes del cuatrimestre analizado.	65
Tabla 29. Precio medio mensual de la electricidad en 2017.	67
Tabla 30. Condiciones interiores de diseño de refrigeración.....	69
Tabla 31. Superficies de transmisión.	71
Tabla 32. Coeficiente de radiación y superficies según orientación.	72
Tabla 33. Número de trabajadores por zona.....	72
Tabla 34. Ahorros estimados al aumentar la temperatura interior.	75
Tabla 35. Características del motor de gas.....	80
Tabla 36. Resumen de medidas de ahorro propuestas.	83



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La descarbonización de la economía es uno de los retos de mayor relevancia a nivel mundial. Acuerdos como el de París demuestran el compromiso con este desafío y marcan la estrategia a nivel energético de los países. El logro de este objetivo debe apoyarse en una mayor electrificación de la economía, mayor uso de gas natural en comparación con carbón y productos petrolíferos, y una mayor eficiencia energética.

Reducir el consumo de energía no solo es importante para contribuir a la descarbonización de la economía, sino que también puede suponer beneficios económicos si la inversión en aumentar la eficiencia energética es menor al ahorro en el consumo futuro.

En la Figura 1, se muestra el consumo de energía en España por sectores en el año 2016, atendiendo a los datos aportados por el IDAE.

Consumo de Energía por Sectores

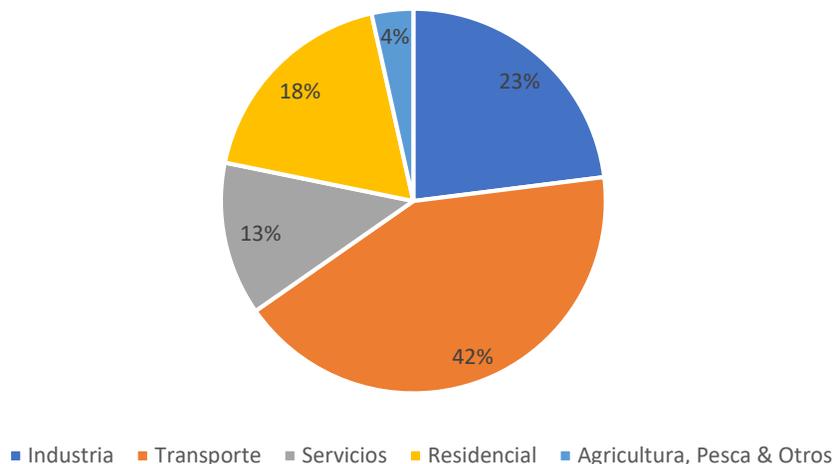


Figura 1. Consumo de energía en España según sector.

Se puede observar que el 31% del consumo total corresponde al sector de la edificación (viviendas y sector servicios), sector en el que existen numerosas tecnologías de alta eficiencia energética y en el cual hay amplio margen de mejora en

este contexto. En concreto, un 13% de la energía total consumida corresponde al sector servicios, al que corresponden los edificios de oficinas.

En este proyecto se analizará el uso y consumo de energía en un complejo de edificios de oficinas, poniendo especial atención a la climatización y refrigeración de los edificios. El objetivo es estudiar la energía consumida en estos edificios, teniendo en cuenta sus características, tendencias y acciones que se han tomado, con la intención de entender y reducir el consumo energético, disminuir el gasto económico y reducir las emisiones de CO₂.

Por motivos de confidencialidad no se hará mención en este documento al nombre de la empresa que posee y hace uso del complejo de edificios. De esta forma, se denominará Modern Office Buildings (MOB) al complejo de edificios mientras que se designarán nombres ficticios para denominar a los distintos edificios que pertenecen a MOB.

MOB es un complejo de edificios de alta sostenibilidad energética, que ostenta la certificación LEED Oro (Leadership in Energy and Environmental Design), el sistema más usado en el mundo de certificación del impacto ambiental de edificios.

1.2. Situación

La demanda de energía correspondiente al sector de la edificación en España está ganando terreno en comparación a otros sectores como la Industria. Pese a la reducción en el consumo debido entre otros factores a la implantación de medidas de eficiencia energética el porcentaje de consumo de este sector aumenta cada año.

Como se ha mencionado, dentro del sector edificios podemos encontrar el sector residencial y el sector servicios. Los edificios de oficinas pertenecen al sector servicios, el cual consume un 13% de la energía total en España.

Los edificios de oficinas son el segundo grupo de mayor peso en este sector, representando en 2016 alrededor del 30% del total según se puede observar en la Figura 2.

Consumo de Energía del Sector Servicios

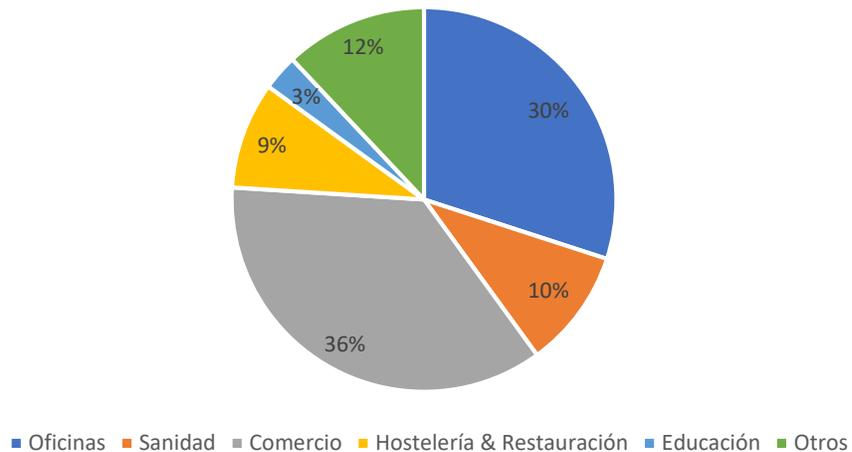


Figura 2. Consumo de Energía del Sector servicios según grupo.

En el *Informe Anual de Consumos Energéticos* del año 2016 se indica que el consumo total de energía por parte de los edificios de oficinas fue de 3.118 ktep. Esta cantidad de energía consumida está formada por distintas energías finales. La Figura 3 muestra la estructura del consumo de energía final en edificios de oficinas.

Consumo de Energía Final en Oficinas

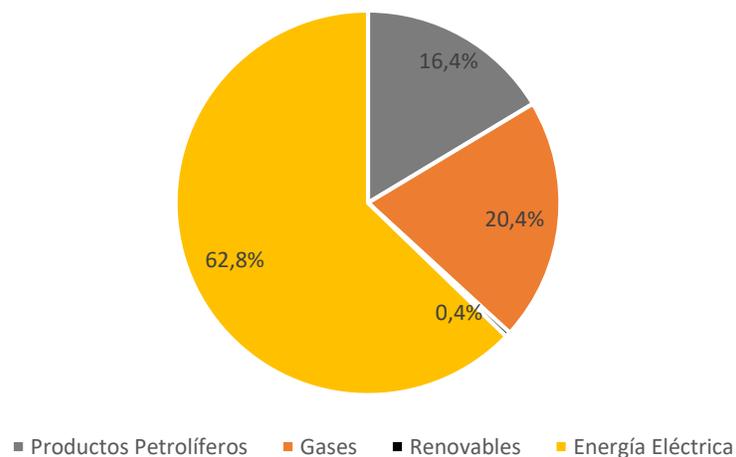


Figura 3. Estructura del consumo de energía final en edificios de oficinas.

De la figura se puede inferir la escasa penetración de energías renovables (autoconsumo) en los edificios de oficinas y oportunidad de reducir considerablemente la cantidad de productos petrolíferos que consumen estos edificios.

Por otro lado, existen grandes posibilidades de ahorro en el consumo de energía global de este tipo de inmuebles. Endesa, en su *Informe de Comportamiento de las Empresas Españolas 2017* establece dicho potencial según se muestra en la Tabla 1.

Potencial de ahorro	Cantidad de empresas
> 20%	59%
10% - 20%	19%
< 10%	14%

Tabla 1. Potencial de ahorro energético en oficinas.

1.3. Horizonte

Dado el potencial, existe una creciente conciencia empresarial en torno a la importancia de la eficiencia energética que se debe principalmente al ahorro económico que origina el disponer de edificios eficientes que permiten reducir el consumo de energía. Además, multitud de empresas incluyen entre sus valores la responsabilidad con el medio ambiente por lo que no persiguen únicamente el ahorro económico sino también la sostenibilidad en el consumo.

Así, el futuro del consumo de energía por parte de estos edificios está determinado por la toma de medidas de ahorro energético entre las cuales destacan las siguientes en la actualidad.

En cuanto a la iluminación, un máximo aprovechamiento de la iluminación natural, el uso de tecnología de iluminación LED y la implantación de detectores de presencia contribuyen a importantes ahorros.

La climatización y refrigeración es el aspecto de mayor importancia, puesto que supone el mayor consumo. Contar con tecnología eficiente y un buen aislamiento térmico tanto de la fachada como de ventanas y puertas permite grandes descensos en el consumo.



El autoconsumo a través de energías renovables es una medida cada vez más popular. La instalación de paneles fotovoltaicos, energía solar térmica, energía geotérmica y la cogeneración favorecen el ahorro económico y un consumo sostenible.

Eliminar el consumo de los equipos en stand-by no requiere una gran inversión y sin embargo produce buenos resultados en relación con el ahorro.

En último lugar, contar con sistemas de telemedida y tele gestión de la energía consumida permite observar y analizar los consumos con el fin de entender el consumo y actuar con mayor fiabilidad a la hora de abordar mejoras en la eficiencia energética.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

2. CARACTERÍSTICAS

2.1. Complejo

El complejo de edificios de oficinas MOB se encuentra en la Comunidad de Madrid por lo que presenta un clima mediterráneo continentalizado. La temperatura exterior y la humedad relativa es un factor clave en la climatización y refrigeración de los edificios, por lo que es importante tener en cuenta este aspecto a la hora de diseñar y evaluar el sistema de climatización del edificio.

A continuación, se muestra en la Figura 4 las características climatológicas en los edificios MOB del último año. Datos sacados de la Agencia Estatal de Meteorología.

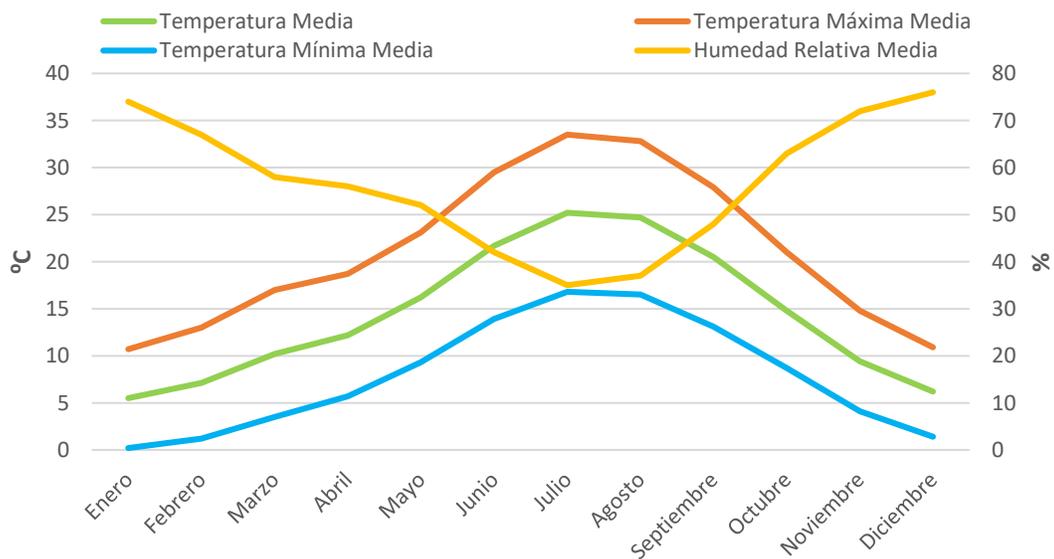


Figura 4. Características climatológicas del complejo.

La sede de oficinas MOB está formada por un total de ocho edificios, de los cuales siete son edificios horizontales mientras que el octavo es una torre de alrededor de 90 metros de altura. El terreno, formado por los edificios, parking y jardines, ocupa un total de 6 hectáreas.

MOB fue diseñado para albergar alrededor de 6.000 personas. Dispone de:

- 114.000 m² de oficinas y servicios.
- 3.650 m² de restaurantes y cafeterías.
- 30.000 m² de zonas verdes.
- 138.000 m² de parking.

El aparcamiento está formado por 3.000 plazas para automóviles y 230 para motos. Además, cuenta con puntos de recarga gratuitos para vehículos eléctricos, lo que supone un mayor consumo de energía eléctrica, pero al mismo tiempo se trata de una medida que beneficia una movilidad urbana sostenible.

MOB está dividido en dos partes principales, que denominaremos FASE I y FASE II. La FASE I incluye dos edificios y supone aproximadamente el 40% de la superficie. El resto de los edificios pertenecen a la FASE II que ocupa el 60% del complejo.

2.2. Edificios

Como ya se ha mencionado, los edificios de MOB cuentan con la certificación LEED Oro gracias a la implantación de numerosas medidas de eficiencia energética. MOB cuenta con innovaciones tecnológicas y sistemas inteligentes que convierten a este complejo de oficinas en sostenible.

Entre estos sistemas destaca la constante monitorización y control del consumo de energía a través de equipos de telemetría y gestión. Esto, unido a otros sistemas de medida de la temperatura, luminosidad natural, presencia o humedad permite optimizar el consumo. La existencia de estos equipos de monitorización del consumo permite analizarlo en este proyecto.

La implantación de tecnologías más eficientes requiere una mayor inversión inicial, como es el caso del uso de iluminación LED, pero su gran eficiencia acaba aportando un retorno positivo en un plazo no demasiado largo. MOB cuenta con iluminación LED en todo el complejo sin excepción, beneficiándose en un 30% menos de consumo de electricidad. Además, esta iluminación LED se encuentra sensorizada a través de detectores de presencia que elimina consumos inútiles y cuenta con regulador de intensidad en función de la luz natural.

Aprovechar al máximo la luz natural permite importantes ahorros en electricidad para la iluminación. Por este motivo, los 49.000 m² de fachada de los ocho edificios están acristalados con vidrio de alta reflectividad que consiguen que un 90% de espacios

interiores dispongan de luz natural. Asimismo, las fachadas exteriores cuentan con lamas de fibra de vidrio que filtran la irradiación solar reduciendo la carga de calor en el interior, lo que favorece la climatización de esos espacios.

También como medida en beneficio del aislamiento térmico para una climatización más eficiente, los edificios cuentan con cubiertas vegetales que aumentan la resistencia térmica de los mismos. De esta manera, se consigue reducir la absorción de calor por transmisión a través de los techos consiguiendo una mejor regulación de la temperatura que permite ahorrar en refrigeración.

Las cubiertas vegetales también tienen la función de recogida de aguas para el riego de las zonas verdes (agua no potable) que junto con otros sistemas de reutilización de agua potable logra reducir en gran medida el consumo de agua.

Por último, MOB cuenta con un sistema de reciclaje que permite el reaprovechamiento del total de residuos generados en el complejo.

2.3. Energías Renovables y Autoconsumo

Siguiendo con la línea de eficiencia y sostenibilidad adoptada por MOB, el complejo cuenta con varias instalaciones de generación de energía renovable para su consumo. En concreto dispone de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica, solar térmica y geotérmica.

Con relación a la instalación de energía solar fotovoltaica, MOB tiene alrededor de 1.030 m² de paneles fotovoltaicos que están conectados a la red a través de inversores. La energía generada se emplea para autoconsumo, con una capacidad de generación de 750.000 kWh/año de energía eléctrica.

Los paneles que forman esta infraestructura son de la marca REC y sus características eléctricas principales se exponen en la Tabla 2.

Potencia nominal	240 Wp
Tensión nominal	29,7 V
Corriente nominal	8,17 A
Tensión a circuito abierto	36,8 V
Corriente de cortocircuito	8,75 A
Eficiencia del módulo	14,5 %

Tabla 2. Especificaciones eléctricas de paneles fotovoltaicos.

La ficha técnica completa de características de las placas fotovoltaicas está recogida en el Anexo 1.

Junto con los paneles solares fotovoltaicos, MOB cuenta con 500 m² de captadores solares, capaces de transformar la radiación solar en energía térmica. Esta energía térmica se aprovecha para usos como agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y refrigeración.

Respecto a la energía geotérmica, emplea un sistema de lazo cerrado vertical y la instalación está compuesta por veinte sondas a una profundidad de 100 m que presentan en total una potencia nominal de calefacción de 120 kW. La energía geotérmica extraída es destinada a la climatización base del complejo. La Figura 5 representa un sistema tipo de geotermia de lazo cerrado vertical.

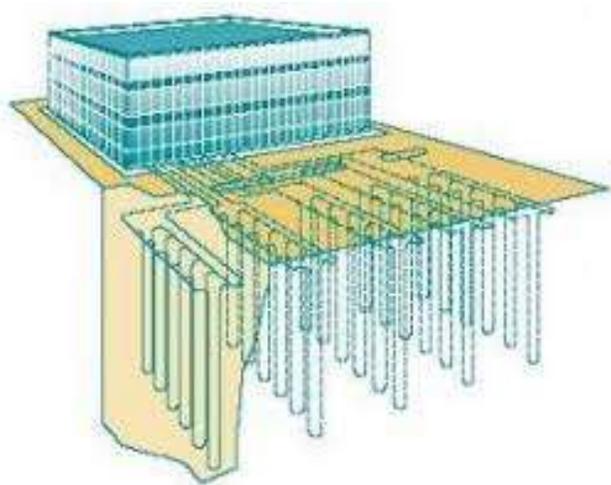


Figura 5. Instalación geotérmica de lazo cerrado vertical.

Las características principales de las sondas y el terreno en el que se encuentran se pueden observar en la Tabla 3.

Tipo de sonda	Doble U PE100RC
Diámetro	32 mm
Separación mínima	6 m
Mortero Termoconductor	$\lambda_m = 2,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
Ejecución perforaciones	Rotación con lodos
Terreno	Arenas, arcillas y gravas
Conductividad real	$\lambda_t = 2,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Tabla 3. Características de la instalación geotérmica.



El sistema también dispone de una bomba de calor geotérmica reversible gracias a la cual se puede aprovechar la energía geotérmica tanto para calefacción como para refrigeración, a través del intercambio de energía térmica entre los edificios y el terreno. La bomba utilizada es una bomba de calor geotérmica GWr con una potencia nominal de 95kW.

MOB cuantifica el impacto positivo provocado por estas instalaciones de energía renovable en una reducción cercana al 8% tanto en las emisiones de CO₂ como en el consumo de energía final.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

3. CLIMATIZACIÓN

En esta parte del trabajo se exponen las características y componentes del sistema de climatización del complejo. Se describirá el sistema empleado y se listarán los diferentes dispositivos presentes en la instalación.

Se pretende conocer la eficiencia de los distintos equipos y su capacidad para la climatización de los edificios. Con esta información, se podrá entender mejor el consumo en climatización y los posibles aspectos de mejora.

3.1. Sistema de Climatización

La climatización es esencial para el confort de las personas y constituye uno de los mayores consumos energéticos en España. Concretamente, se consumen unos 35.000 GWh eléctricos de un total de 260.000 GWh eléctricos (un 13,5%).

En un edificio tipo del sector servicios de clima mediterráneo, los consumos de energía se distribuyen aproximadamente de la siguiente manera:

- 40 % en refrigeración y ventilación.
- 30% en iluminación.
- 25% en calefacción.
- 5% en otros consumos.

De estos datos se puede interpretar la importancia en la elección del sistema y equipos de climatización. El sistema de climatización y ventilación implantado en el complejo de oficinas MOB es un sistema aire-agua, específicamente con vigas frías activas.

Para edificios de gran tamaño como es el caso, el sistema de climatización aire-agua es el más frecuente. Destaca su capacidad de garantizar el enfriamiento y calefacción de forma simultánea. Esto se debe a la naturaleza del método de climatización, en el que se tiene aire en el circuito primario y agua en el secundario por lo que se pueden climatizar instalaciones con distintas cargas térmicas. El aire del circuito primario suministra el aire exterior necesario para la correcta climatización y compensa las cargas térmicas latentes.

Una particularidad de los sistemas aire-agua es la posibilidad de controlar distintas zonas de los edificios de manera individual y de forma rentable a través del uso de termostatos ambientales que regulan los flujos de agua y aire. Otra ventaja que se atribuye a este sistema es el ahorro en costes de operación, puesto que la potencia necesaria para bombear agua es menor que la que requerirían ventiladores para proporcionar el aire de suministro.

La Figura 6 ilustra un esquema tipo de un sistema de climatización aire-agua con vigas frías. En el esquema se puede diferenciar los principales elementos a tener en cuenta y que se detallarán en este proyecto. Estos elementos son:

- (1) Equipos de refrigeración.
- (2) Calderas.
- (3) Climatizadores (Unidad de Tratamiento de Aire).
- (4) Vigas frías.

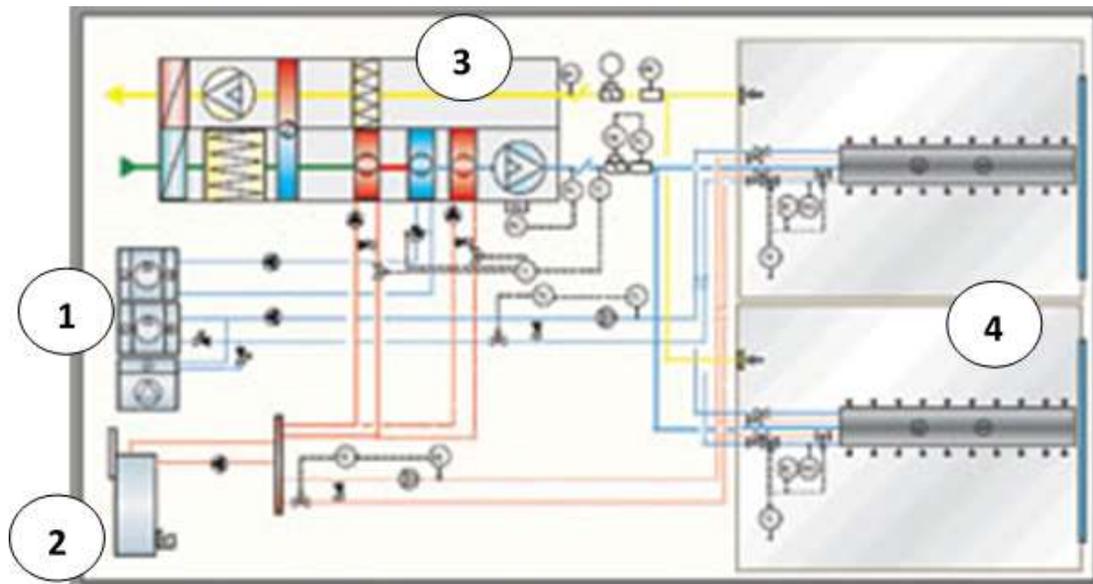


Figura 6. Esquema de un sistema aire-agua con vigas frías.

3.2. Vigas Frías

Las vigas frías son el elemento diferencial del sistema que proporciona un aumento en la eficiencia de la climatización. MOB adoptó esta solución al adaptarse perfectamente a los criterios de confort, ruido y mínimas corrientes de aire.

Cabe destacar que pueden funcionar tanto para enfriar como para calentar los edificios y trabajan con menor volumen de aire que los equipos VAV (volumen de aire variable) haciendo viable que las unidades de tratamiento de aire sean más pequeñas en comparación.

Otra característica reseñable acerca de las vigas frías es que no tienen elementos mecánicos como motores o ventiladores que necesiten un elevado mantenimiento, lo cual supone también una ventaja.

Teóricamente, la ventaja principal de las vigas frías frente a otros sistemas como los formados por fan coils es la disminución en la potencia frigorífica necesaria para climatizar los espacios. Se ha querido realizar un análisis al respecto, comparando ambas opciones para un mismo caso de estudio.

Se ha utilizado el software OpenStudio, una herramienta informática cuyas aplicaciones están dirigidas al análisis del consumo de energía en edificios. Para este caso de estudio, se ha modelado un edificio simple de una sola planta, con dos salas de reuniones para diez personas (30 m²) y cinco salas de reuniones para 6 personas (18 m²). Es decir, una capacidad máxima de 50 ocupantes. Estas salas de reuniones son como las que pueden encontrarse en los edificios de MOB.

Se ha llevado a cabo el análisis durante una semana de verano (última semana de junio), tomando las condiciones de temperatura y humedad relativa exterior. La consigna de temperatura interior es de 24 °C y humedad relativa del 50%.

Los dos sistemas comparados son el de vigas frías frente al de fan coils. En la Figura 7 se hallan los dos esquemas básicos de climatización utilizados en la herramienta informática (fan coil y vigas frías respectivamente).

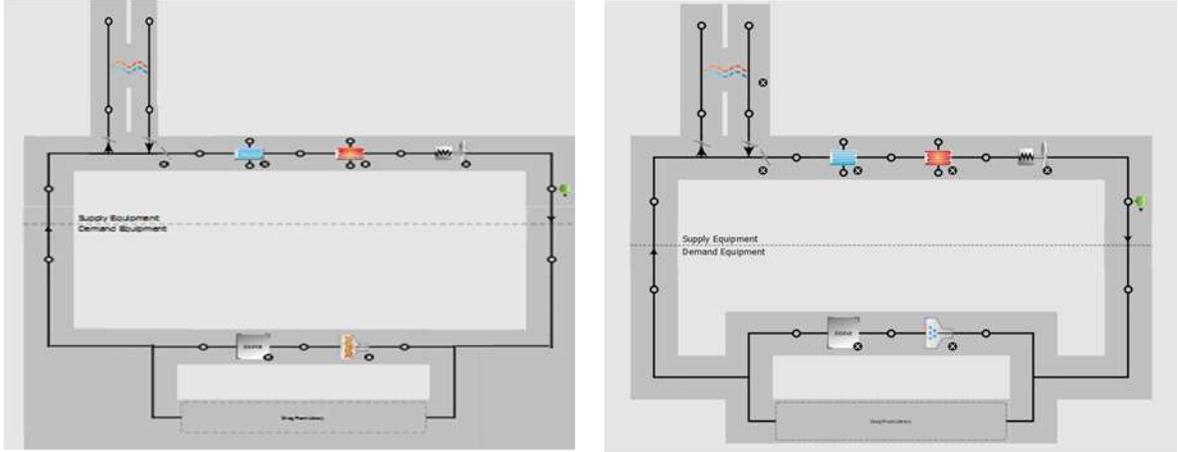


Figura 7. Diferencia entre esquemas de climatización.

Los resultados de consumo de energía por horas durante la semana examinada se pueden ver en la Figura 8.

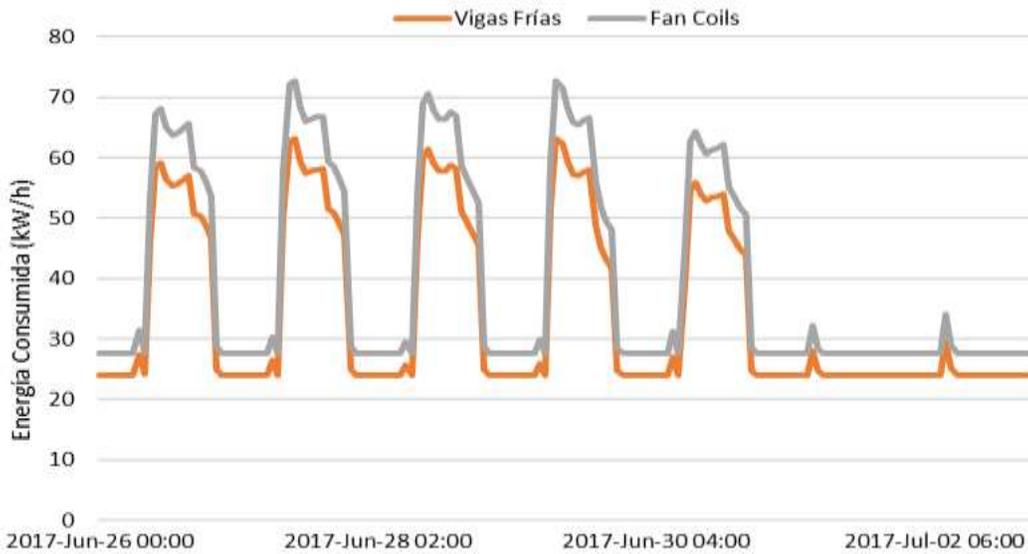


Figura 8. Consumo de energía según sistema de climatización.

La gráfica muestra una clara reducción en el consumo por parte de las vigas frías con respecto a los ventilosconvectores (fan coils). Se ha cuantificado el ahorro en un 15% para este caso específico, por lo que queda demostrada la mayor eficiencia de las vigas frías.

Las partes principales que componen una viga fría se pueden observar en la Figura 9, que muestra una sección frontal de la viga. Estas son:

- (1) Conducto de aire primario que proviene del climatizador.
- (2) Toberas de inducción.
- (3) Serpentín.
- (4) Aire frío impulsado (mezcla de aire primario y aire secundario)
- (5) Aire secundario (caliente) de la sala.

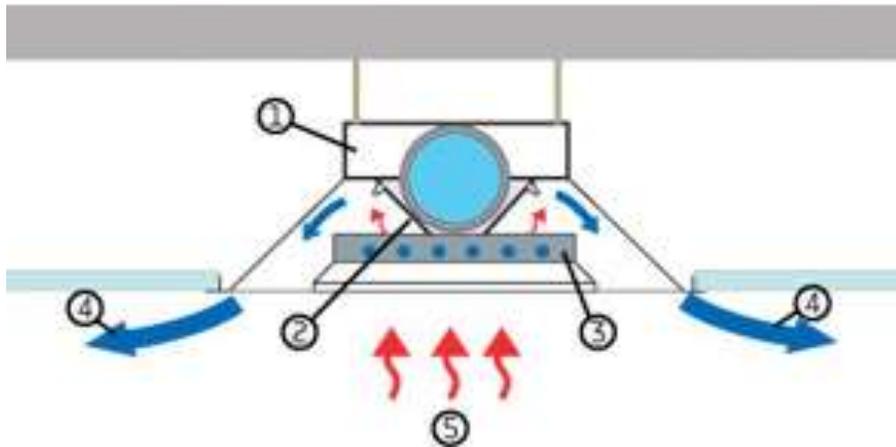


Figura 9. Partes de una viga fría.

El proceso de funcionamiento de las vigas frías es el siguiente. El aire primario procedente del climatizador es mezclado con el aire secundario de la sala que ha pasado primero por el serpentín. Posteriormente las toberas de inducción impulsan el aire tratado hacia la sala.

Este método permite un rendimiento más eficiente de los equipos de refrigeración y calderas puesto que puede funcionar con una mayor temperatura de agua fría y una menor temperatura de agua caliente.

Los edificios del complejo MOB están compuestos por distintos tipos de habitaciones. Se puede discernir entre las salas de trabajo abiertas y las salas de reuniones o despachos. Según el tipo de sala las especificaciones a cumplir por las vigas han de ser las mostradas en la Tabla 4.

	Oficinas abiertas	Despachos
Temperatura aire primario	18 °C	18 °C
Flujo de aire por viga	13 l/s	36 l/s

Tabla 4. Especificaciones de vigas frías según tipo de sala.

La variación de las condiciones climáticas entre estaciones es notoria y por tanto también es necesario distinguir entre las características que deben poseer las vigas frías para el correcto funcionamiento de la climatización según la fecha. De este modo, se puede observar en la Tabla 5 las condiciones de las vigas en función del escenario.

	Verano	Invierno
Temperatura del agua	15 °C - 18°C	35 °C - 45 °C
Capacidad de enfriamiento de viga	713 W	825 W
Capacidad de calefacción de viga	510 W	510 W
Temperatura del aire de sala	24 °C	21 °C

Tabla 5. Especificaciones de vigas según estación.

Las vigas frías instaladas en los edificios son de la marca Swegon, modelo Parasol. En el Anexo 2 se pueden encontrar las especificaciones de estas vigas en relación con el caudal de aire primario, nivel de ruido, presión en tobera y potencias tanto frigorífica (aire y agua) como calorífica (agua).

Este tipo de vigas posibilitan la difusión del aire hasta en cuatro direcciones de forma totalmente ajustable en cada lado. Están dispuestas a 2,4 m unas de otras para maximizar el confort y evitar la estratificación. La colocación de las vigas, de forma perpendicular a la fachada, en salas de trabajo abiertas se ilustra en la Figura 10.

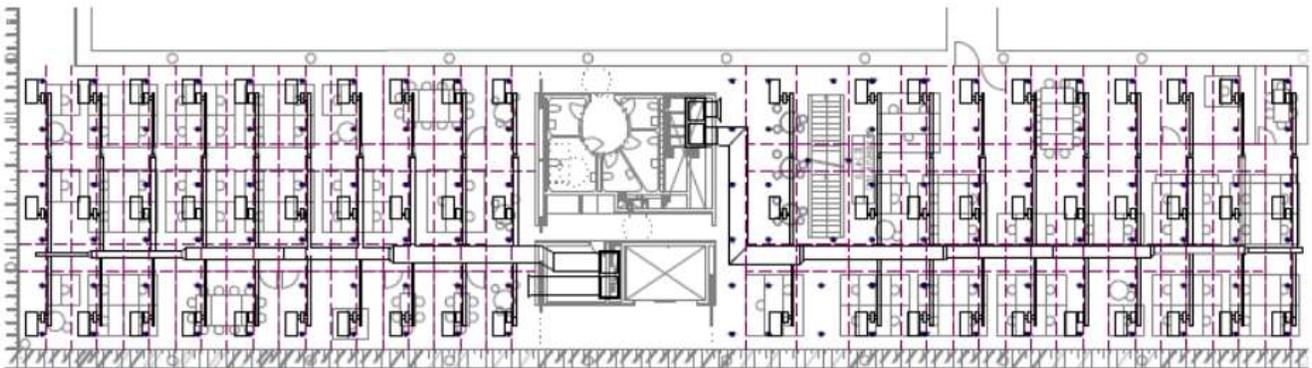


Figura 10. Distribución de las vigas frías.

La disposición de las vigas, junto con la reducida velocidad de salida del aire y la impulsión del aire de salida en cuatro direcciones distintas hacen posible eliminar la estratificación del aire en las oficinas. En la Figura 11 se representa la distribución de temperaturas para diferentes alturas, que son 0,2 m, 1,5 m y 2,3 m respectivamente, sobre el nivel del suelo.

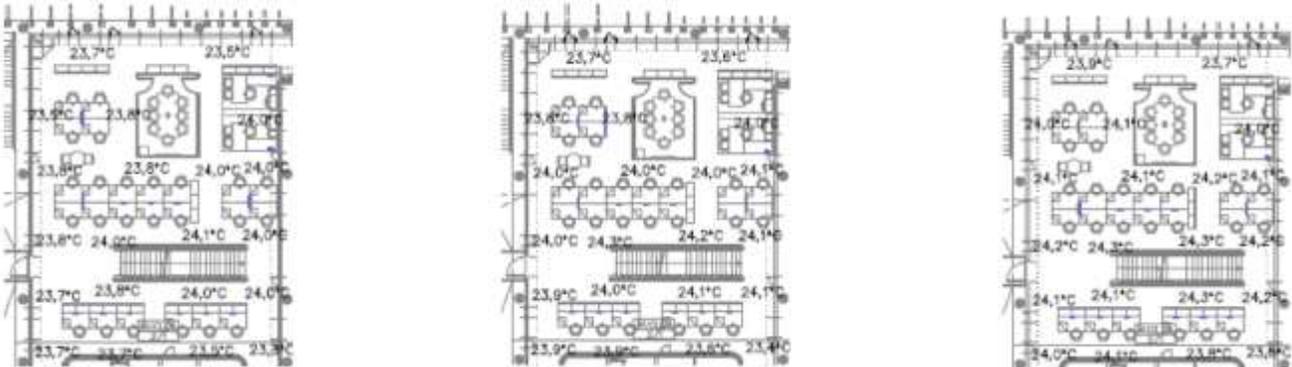


Figura 11. Distribución de temperaturas en sala.

La diferencia entre temperaturas en distintos lugares de la sala es prácticamente insignificante, aunque se puede apreciar un mayor gradiente en las inmediaciones de las puertas.

Se estudiarán posibles medidas para minimizar esta diferencia de temperaturas entre las puertas y el resto de la sala.

3.3. Unidades Frigoríficas

La generación de frío para refrigeración de los edificios es llevada a cabo por parte de los grupos frigoríficos. Estos determinan la capacidad total de enfriamiento. MOB cuenta con hasta nueve unidades frigoríficas, que dan servicio a distintas partes y edificios del complejo.

En este apartado se detallarán los equipos de refrigeración, sus características y su sistema de funcionamiento y control. Conociendo todos estos datos, el posterior análisis del consumo correspondiente a la climatización será más fiel a la realidad.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, existen dos partes diferenciadas en MOB denominadas FASE I y FASE II. Cada una de estas zonas dispone de sus propias unidades frigoríficas.

La FASE I, compuesta por dos edificios, acapara seis de los equipos de producción de frío. Cada edificio tiene la capacidad de refrigeración de tres unidades iguales entre sí. Estos equipos, de la marca McQuay (Daikin) son:

- AWS 313.2 PRLN (3 uds)
- AWS 445.3 XELN (3uds)

Ambos grupos son máquinas enfriadoras de agua condensadas por aire con compresores monotornillo (un solo rotor). El evaporador es de un solo paso por tubo y carcasa mientras que el condensador es de tubo y aleta con subcooler.

Es importante conocer el rango de eficiencia de estos equipos. Se puede saber a través del coeficiente de eficiencia energética (EER) y el coeficiente de eficiencia energética estacional o eficiencia en frío (SEER). Los coeficientes de esta máquina son los siguientes:

- EER = 3.51
- SEER = 4,39

De estos índices se puede concluir que este grupo frigorífico no está a la altura de la eficiencia perseguida por el complejo, pues está lejos del mayor rango. A continuación, se presentarán en la Tabla 6 las especificaciones técnicas de la unidad frigorífica AWS 313.2 PRLN.

Potencia de enfriamiento		1.158 kW
Capacidad mínima		12,5 %
Alimentación		330 kW
Evaporador	Volumen de agua	1011 l
	Flujo nominal agua	55,31 l/s
	Caída de presión	77 kPa
Flujo nominal de aire ventilador		106.888 l/s
N.º de compresores		2
Nivel de ruido		99,9 dB
Refrigerante	Tipo	R-134a
	N.º de circuitos	2

Tabla 6. Especificaciones técnicas unidad frigorífica AWS 313.2 PRLN.

La Tabla 7 muestra las características eléctricas de la misma unidad.

Tensión nominal	400 V
Corriente nominal	551 A
Corriente máxima	732 A
Corriente nominal ventiladores	80 A
Corriente máxima compresor	332 A

Tabla 7. Especificaciones eléctricas unidad frigorífica AWS 313.2 PRLN.

Puesto que existen tres unidades de este tipo de máquina, destinadas a la refrigeración de un único edificio, la potencia total de enfriamiento de estas tres máquinas es 3.474kW.

La unidad AWS 445.3 XELN presenta unos coeficientes de eficiencia energética de:

- EER = 3,17
- SEER = 4,17

De igual forma que el anterior equipo, dista mucho de ser tan eficiente como se desearía. La Tabla 8 exhibe las especificaciones técnicas de esta unidad.

Potencia de enfriamiento		1.596 kW
Capacidad mínima		7 %
Alimentación		504 kW
Evaporador	Volumen de agua	831 l
	Flujo nominal agua	76,24 l/s
	Caída de presión	79 kPa
Flujo nominal de aire ventilador		128.266 l/s
N.º de compresores		2
Nivel de ruido		99,6 dB
Refrigerante	Tipo	R-134a
	N.º de circuitos	3

Tabla 8. Especificaciones técnicas unidad frigorífica AWS 445.3 XELN

La Tabla 9 muestra las características eléctricas de la misma unidad.

Tensión nominal	400 V
Corriente nominal	834 A
Corriente máxima	1.074 A
Corriente nominal ventiladores	96 A
Corriente máxima compresor	330 A

Tabla 9. Especificaciones eléctricas unidad frigorífica AWS 445.3 XELN

La capacidad total de enfriamiento de estas tres máquinas es 4.788kW. Así, la FASE I tiene una potencia de enfriamiento total de 8.262 kW.

En los edificios se monitoriza el estado de estas máquinas junto con el de otros equipos, visualizando continuamente información de valor para el correcto funcionamiento del método de enfriamiento. La Figura 12 muestra un extracto de este sistema de monitorización, concretamente del edificio que tiene las tres unidades frigoríficas AWS 313.2 PRLN.

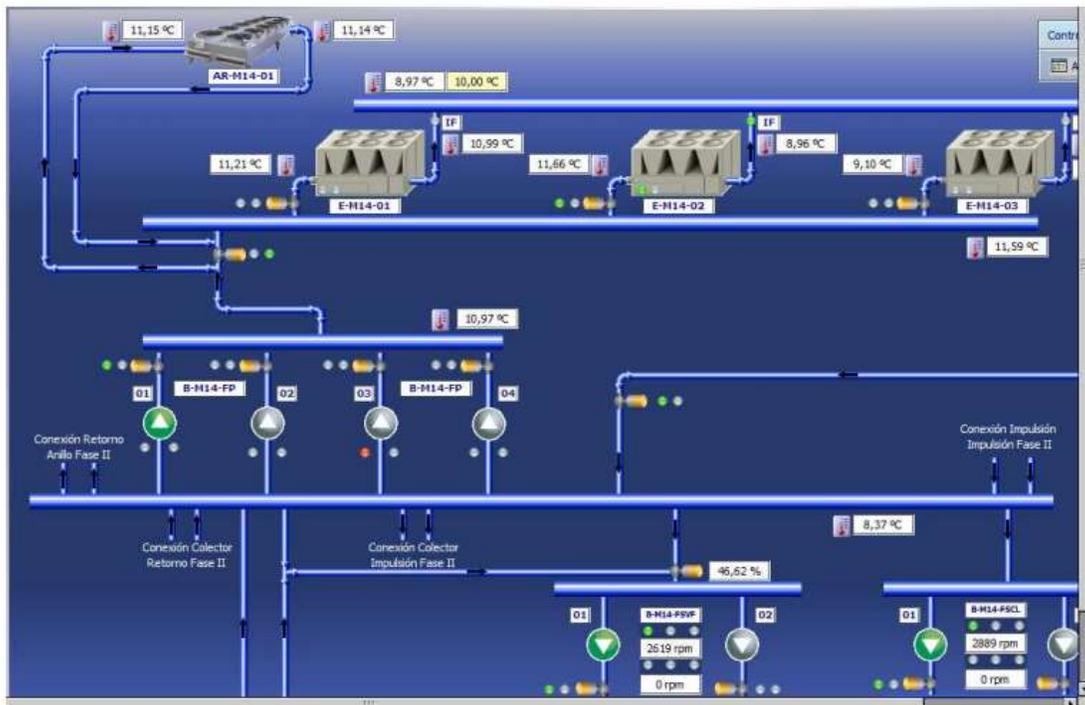


Figura 12. Monitorización del sistema de enfriamiento.

En cuanto a la FASE II, alberga en total tres unidades frigoríficas de la misma marca que los seis equipos ya estudiados. Estas son:

- PFS 302.2 C XE ST (1 ud)
- WSC 100 MA (2 uds)

La unidad PFS 302.2 C XE ST es una máquina enfriadora de agua condensada por agua con compresores monotornillo, por lo que requiere de una red de aporte de agua. Ambos intercambiadores de calor (evaporador y condensador) son de tipo inundado de carcasa y tubo.

Los coeficientes de eficiencia energética de este equipo son:

- EER = 6,03
- SEER = 7,40

En este caso, no solo el coeficiente de eficiencia en frío es mayor que 5,1 sino que está comprendido en el rango [6,1; 8,5], el segundo de más alta eficiencia, por lo que sí se trata de una máquina de elevada eficiencia energética, en sintonía con las características del complejo y su calificación LEED Oro. Sus especificaciones técnicas se encuentran en la Tabla 10.

Potencia de enfriamiento		1.050 kW
Capacidad mínima		12,5 %
Alimentación		504 kW
Evaporador	Volumen de agua	295 l
	Caída de presión	35 kPa
Condensador	Volumen de agua	348 l
	Caída de presión	33 kPa
N.º de compresores		2
Nivel de ruido		83 dB
Refrigerante	Tipo	R-134a
	N.º de circuitos	1

Tabla 10. Especificaciones técnicas unidad frigorífica PFS 302.2 C XE ST.

La unidad WSC 100 MA es un enfriador centrífugo de compresor simple. Utiliza el tipo de refrigerante R-134a y su potencia de enfriamiento es de 3.500 kW. Se trata de la unidad de mayor potencia de frigorífica de todo el complejo de oficinas. No se tiene más información acerca de este tipo de equipo, por lo que no se pueden mostrar sus especificaciones técnicas. Pese a ello, saber la potencia de enfriamiento nos ayuda a calcular la capacidad de refrigeración tanto de la FASE II como del total del complejo.

Teniendo en cuenta que la FASE II tiene una unidad del equipo PFS 302.2 C XE ST y dos unidades del equipo WSC 100 MA, se puede determinar la capacidad de enfriamiento total de esta zona del complejo en 8.050 kW.

Tras haber analizado todas las unidades frigoríficas del complejo de oficinas MOB, se comprueba que la potencia total de enfriamiento es de 16,3 MW.

En este proyecto se hace énfasis en la climatización y refrigeración principalmente, por lo que el dato de la capacidad de refrigeración se tendrá en cuenta a la hora de analizar el consumo de energía de MOB, pudiendo esclarecer si el dimensionamiento es correcto, o de lo contrario no es del todo eficiente.

3.4. Climatizadores

En este apartado se detallará el número y tipo de climatizadores existentes en MOB. Además, se expondrán las características y elementos de eficiencia de estos aparatos y se resumirán los problemas y dificultades encontradas.

En total hay 55 climatizadores situados en los distintos edificios del complejo. De este total, 27 de ellos están emplazados en los dos edificios de la FASE I, mientras que los 28 restantes se encuentran en los edificios de la FASE II.

Hay tres tipos distintos de unidades de tratamiento de aire (UTA) funcionando, todos ellos de la marca Swegon. Dentro de estos modelos de climatizadores, hay distintas unidades en función del tamaño y máximo caudal de aire. Estos modelos son:

- GOLD RX: 12, 20, 25, 30, 40, 60, 80, 100, 120.
- GOLD SD: 04, 05, 08, 14, 30, 40.
- GOLD CX: 30 35.

En la Tabla 11 queda constancia de los diferentes climatizadores según modelo y zona.

		FASE I (uds)	FASE II (uds)
GOLD RX	12		2
	20	1	2
	25		1
	30		1
	40	2	2
	60	7	2
	80	8	4
	100		5
	120	2	6
GOLD SD	04		1
	05		1
	08	2	
	14		1
	30	1	
	40	2	
GOLD CX	30	1	
	35	1	

Tabla 11. Número de climatizadores según tipo y zona.

Los equipos GOLD CX son climatizadores con intercambiador de calor de batería con protección anti-congelación. Cuenta con ventiladores de aire de impulsión y retorno de accionamiento directo y filtros para el aire de impulsión. Tal y como se observa en la Tabla 11, únicamente hay dos unidades de este modelo en el complejo, modelos 30 y 35. El caudal de aire máximo de este último es de 14.040 m³/h.

Los climatizadores GOLD SD son unidades independientes de tratamiento del aire de impulsión y retorno, de flujo unidireccional. Hay modelos desde el GOLD SD 04 hasta el GOLD SD 40, con la capacidad de climatizar caudales de aire de hasta 21.600 m³/h.

El modelo GOLD RX es el más abundante en el complejo. Se trata de un climatizador con intercambiador de calor rotativo, ventiladores de aire de impulsión y de retorno, y filtros de aire de impulsión y de retorno. El rendimiento térmico del intercambiador de calor es de hasta un 85%. De este tipo de unidad de tratamiento de aire se tienen modelos desde el GOLD RX 12 hasta el GOLD RX 120, pudiendo climatizar caudales de hasta 50.400 m³/h.

La recuperación de energía a través del intercambiador de calor rotativo permite reducir la potencia de climatización del aire y por tanto reduce considerablemente el importe económico de la factura. En el caso de estos climatizadores, el tipo de intercambiador de calor es un recuperador rotativo entálpico.

El intercambiador de calor rotativo entálpico presenta la ventaja frente a un recuperador térmico convencional de que no sólo recupera el calor sensible sino también el latente. Así, puede controlar tanto la temperatura como la humedad relativa del aire, enfriando y deshumidificando en verano y calentando y humidificando en invierno. Gracias a esto, presentan unos rendimientos térmicos superiores. La eficiencia del recuperador instalado es del 78% del calor sensible y 76% del calor latente.

El principio de funcionamiento de este recuperador se basa en ceder vapor de agua del flujo de aire más húmedo al flujo más seco. Para ello, el intercambiador de calor rotativo entálpico de los climatizadores instalados funciona con los dos flujos a contracorriente y poseen regulación de velocidad variable de los ventiladores.

Se va a realizar un cálculo sencillo para estimar el ahorro de potencia de ventilación que supone el uso de la recuperación de calor a través del intercambiador entálpico. Hay que tener en cuenta tanto la transferencia de calor sensible como latente. El primer caso está determinado por la diferencia de temperatura seca de las dos corrientes de aire mientras que el segundo caso depende de los gradientes de presiones de vapor entre el espacio climatizado y los dos flujos de aire.

Se estudiará un caso de extremo calor de verano, en el que la temperatura exterior alcanza los 38 °C. La consigna de temperatura de las oficinas en verano es de 24 °C y 50% de humedad relativa. Se considerará un valor de humedad relativa exterior también del 50% (situación habitual en la zona).

Puesto que el climatizador con más unidades es del tipo GOLD RX 80, se usará un caudal de ventilación de 20.000 m³/h empleado típicamente para enfriar varias salas de gran tamaño. Se examinarán por separados los dos escenarios para después poder compararlos.

- Escenario 1: Sin recuperador rotativo entálpico.

$$P_{sensible} = Q \cdot 0,3 \cdot (T_1 - T_2) \cdot F = 20.000 \cdot 0,3 \cdot (38 - 24) \cdot \frac{1}{1160} = 60,3 \text{ kW}$$

$$P_{latente} = Q \cdot 0,7 \cdot (W_1 - W_2) \cdot F = 20.000 \cdot 0,7 \cdot (21 - 9) \cdot \frac{1}{1160} = 155,2 \text{ kW}$$

$$P_{total} = P_{sensible} + P_{latente} = 215,5 \text{ kW}$$

- Escenario 2: Con recuperador rotativo entálpico

$$P_{sensible} = Q \cdot 0,3 \cdot (T_{1'} - T_2) \cdot F = 20.000 \cdot 0,3 \cdot (28,4 - 24) \cdot \frac{1}{1160} = 19 \text{ kW}$$

$$P_{latente} = Q \cdot 0,7 \cdot (W_{1'} - W_2) \cdot F = 20.000 \cdot 0,7 \cdot (13 - 9) \cdot \frac{1}{1160} = 51,7 \text{ kW}$$

$$P_{total} = P_{sensible} + P_{latente} = 70,7 \text{ kW}$$

Donde,

- Q: Caudal en (m³/h).
- T: Temperatura (°C).
- W: Humedad específica (g_{vapor}/kg_{aire}).
- F: Factor de conversión kcal/h – W.

Se puede apreciar como el uso del recuperador de calor entálpico está plenamente justificado al reducir en un 67% la potencia de refrigeración necesaria. El Anexo 3 contiene un diagrama psicrométrico con las condiciones detalladas para más información.

Tras haber analizado la importancia de la recuperación de energía en los climatizadores, es importante indicar los problemas e ineficiencias encontrados durante su funcionamiento. Estos problemas han venido siendo habituales en los informes de mantenimiento llevados a cabo en el complejo y se pueden resumir en dos aspectos principales.

En primer lugar, existen incidencias con los humectadores de los climatizadores. Varias unidades tienen humectadores de vapor de electrodos, mientras que otros equipos tienen humectadores de panel celular adiabáticos. En algunos de los

humectadores de electrodos se ha detectado agua en su interior por condensación del vapor fugado de la propia manguera de salida del humectador. En el caso de los humectadores adiabáticos, hay un problema con la conexión a los relés, puesto que su límite es de 230 V y están conectados a 400 V, por lo que deben ser sustituidos tanto los humectadores averiados como los relés.

El segundo problema asociado a los climatizadores tiene que ver con los equipos de menor tamaño y sus válvulas de accionamiento. La temperatura de impulsión del aire no se ajusta debidamente ante cambios rápidos de regulación. La causa es la reducida velocidad de reacción de las válvulas de accionamiento, que necesitan ser sustituidas por otras de mayor velocidad para no comprometer la climatización y no generar ineficiencias.

El último tema por tratar acerca de los climatizadores es la monitorización y control de estos. Al igual que las unidades frigoríficas (ver Figura 12), se cuenta con un sistema para regular y monitorizar todos los parámetros relativos a las unidades de tratamiento de aire. En la Figura 13 se exhibe este sistema. Se pueden observar las distintas partes de los climatizadores y sus parámetros de control.

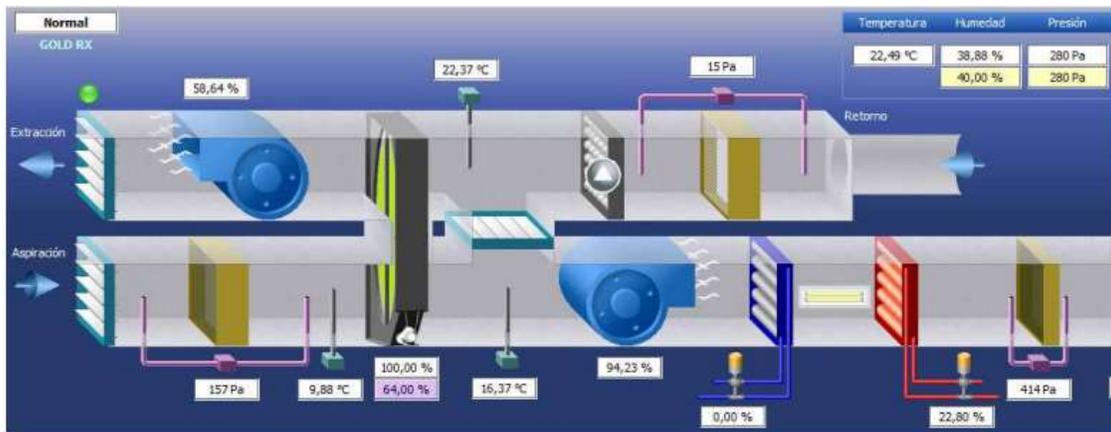


Figura 13. Monitorización de los climatizadores.

3.5. Calderas

Las condiciones climáticas y las necesidades de climatización de los edificios provocan una mayor demanda de refrigeración que de calefacción. Los equipos de producción de frío están en funcionamiento prácticamente todo el año, de forma contraria a las calderas que están activas un tiempo menor. Además, es reseñable comentar que

parte de la demanda de calor es cubierta con la energía geotérmica y la energía solar térmica.

Debido a la menor necesidad de calefacción, las calderas de los edificios fueron escogidas con fines de garantizar la seguridad en el suministro de calor por encima de criterios de eficiencia. Así, se tienen calderas Viessmann Vitoplex 300 TX3 que trabajan tanto con gas natural como con gasoil. La posibilidad de emplear cualquiera de los combustibles aporta una mayor robustez y fiabilidad.

El mayor inconveniente de estas calderas está relacionado con la eficiencia de estos equipos, puesto que no se ajusta a los objetivos del complejo y pese a que el gas natural es el combustible fósil que menos CO₂ expulsa en su combustión, no deja de ser una solución menos comprometida con la emisión de gases de efecto invernadero que otras opciones.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

4. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA

En esta parte del documento se va a examinar el consumo de energía eléctrica en el complejo de oficinas atendiendo a sus distintos usos y teniendo en cuenta las características ya desarrolladas en los anteriores apartados.

Como ya se ha explicado, MOB monitoriza el consumo de energía eléctrica diario en función de los usos. Pero no solo eso, también tiene equipos de medición de temperatura exterior y puede verificar la ocupación del edificio.

Para este proyecto se tienen todos estos datos correspondientes a los meses comprendidos entre julio y diciembre del pasado año. Así, se analizará el consumo de la segunda mitad del año 2017 y se podrá estimar el consumo total anual para obtener unos indicadores anuales.

Ver el Anexo 4 para consultar todos estos datos.

4.1. Ocupación

Antes de empezar a estudiar los datos de consumo energético es de marcada relevancia conocer de forma exacta el número de trabajadores y personas presentes en el complejo de oficinas durante el periodo considerado. Por un lado, la Figura 14 contiene la ocupación total media de cada mes, es decir, el número total de personas que han estado presentes en MOB de forma no simultánea. Se ha distinguido entre los días laborables y no laborables para obtener una representación más ajustada.

De esta figura se puede extraer que la ocupación total en días laborables es cercana a las 7.000 personas durante los meses en los que no hay vacaciones. Meses como julio y diciembre presentan un ligero descenso hasta las 6.000 personas de media de ocupación total, mientras que el mes de agosto es el mes del año en el cual hay una ocupación visiblemente inferior, que no llega a las 4.000 personas.

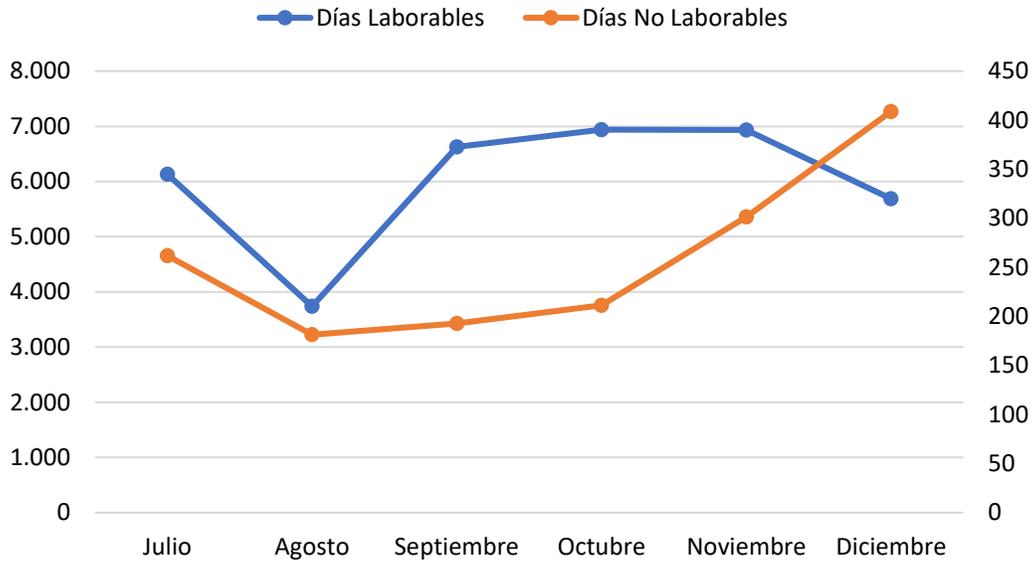


Figura 14. Ocupación total media de cada mes.

Por otro lado, es necesario conocer también la media de ocupación de estos meses, es decir, la media diaria de ocupación de forma simultánea extrapolada a cada mes. De esta manera se puede saber el número de personas presentes al día en el complejo en cada momento. Puede observarse la ocupación media mensual en la Figura 15.

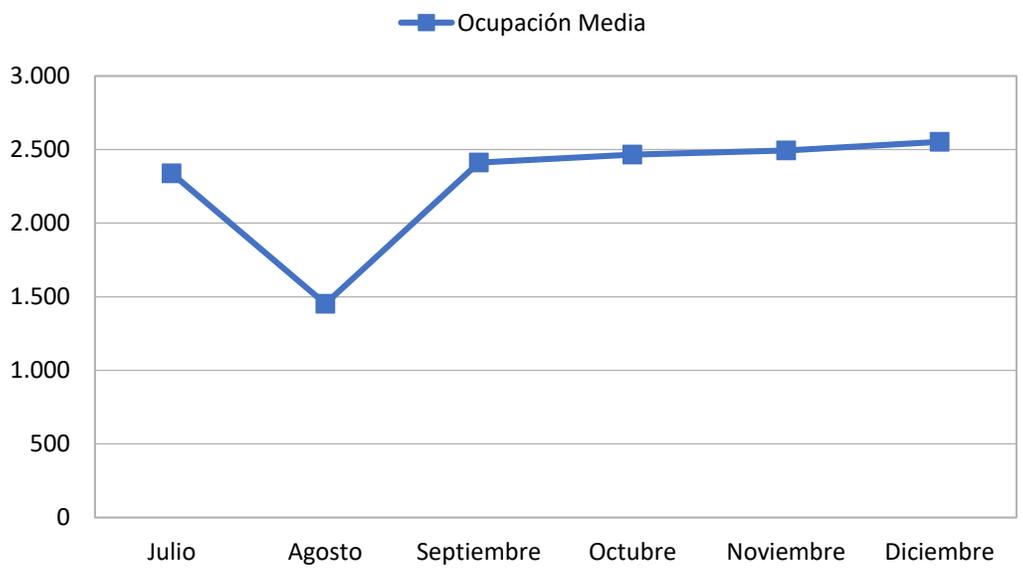


Figura 15. Ocupación media diaria de cada mes.

De igual forma que en la gráfica anterior, agosto presenta una ocupación mucho menor al resto de meses, 1.500 personas de media al día. La media de julio es de 2.350 personas mientras que en el intervalo de meses septiembre-diciembre la ocupación media diaria se encuentra en torno a las 2.500 personas.

4.2. Temperatura

Conocer la temperatura exterior es muy importante a la hora de evaluar el consumo de energía en los edificios, puesto que tiene una gran influencia en la climatización. MOB mide a cada instante la temperatura exterior del complejo a través de sensores.

Se tiene la temperatura media de las horas laborables de cada día durante el periodo de estudio. Con estos datos se ha realizado la media mensual para observar las diferencias según el mes estudiado, al igual que se ha hecho con la ocupación del complejo. La Figura 16 exhibe dicha media de temperatura.

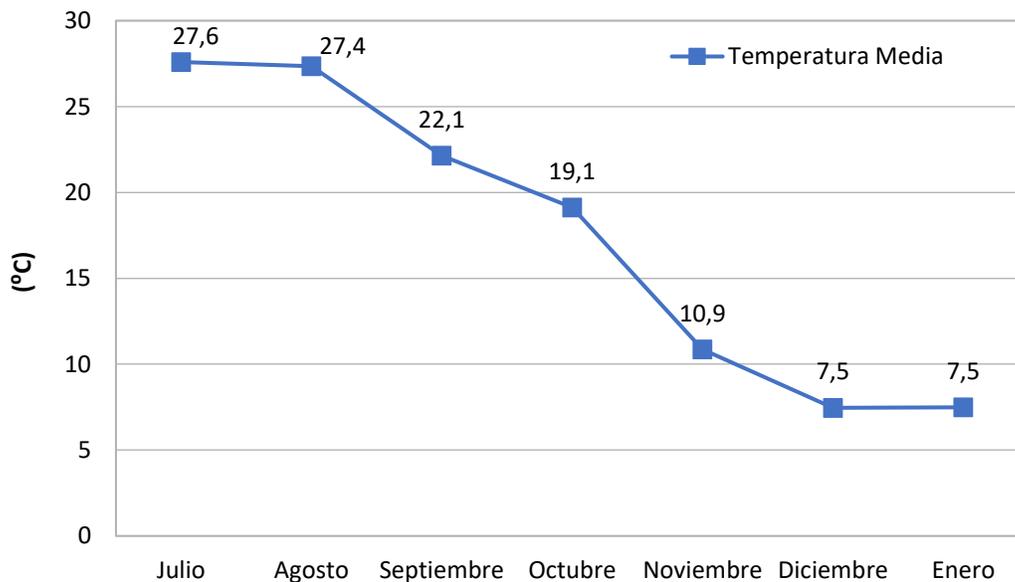


Figura 16. Temperatura media mensual.

De esta figura se puede inferir que julio y agosto requerirán de una importante refrigeración, principalmente en las horas de máxima temperatura. Septiembre y parte de octubre seguirán necesitando refrigeración mientras que meses fríos como los últimos del año harán uso de la calefacción.

4.3. Consumo Mensual

En este fragmento se estudiará mes a mes el consumo de energía eléctrica haciendo hincapié en su relación con la temperatura y la ocupación del complejo. Se expondrán los valores totales y medios de consumo, así como los picos junto con sus explicaciones. Se analizarán posibles ineficiencias o consumos más elevados de lo normal injustificados.

Se analizará también la influencia en el consumo diario y total de los distintos tipos de usos a los que se destina la energía en el complejo.

4.3.1. Julio

El mes de julio fue el de mayor temperatura media del año 2017, situándose en 27,6 °C. La máxima temperatura media registrada durante el mes es de 32,8 °C mientras que la mínima es de 18,8 °C. Por otro lado, la ocupación media del mes de los días laborables es de 2.024 personas mientras que la ocupación total media es de 6.135 personas. Se ha representado en gráficas el consumo diario de energía eléctrica frente a la temperatura y la ocupación total, con el fin de observar la evolución del consumo en función de estos parámetros. Ambas gráficas se encuentran recogidas en la Figura 17.

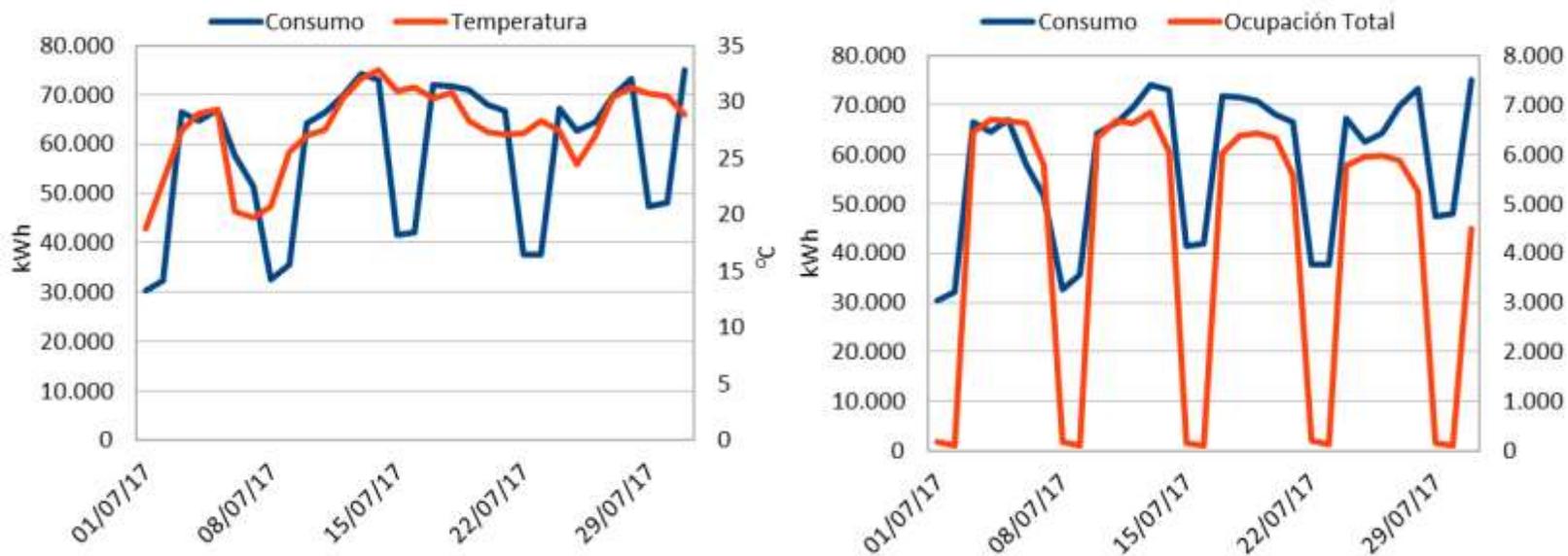


Figura 17. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en julio.

Se puede apreciar con claridad la diferencia de consumo entre los días laborables y los días de fin de semana puesto que estos últimos presentan un consumo, así como una ocupación mucho menor. En los días laborables, la media de electricidad consumida en el complejo es de 67.414 kWh al día, mientras que en los días de fin de semana se sitúa en 38.501 kWh.

Al ser un mes caluroso se espera que la climatización y refrigeración de los edificios sea el consumo más importante, y al tener una relación directa con la temperatura exterior se puede apreciar en la Figura 17 (gráfica consumo-temperatura) como el consumo sigue el patrón de la temperatura en líneas generales (en días laborables). Exceptuando el último día del mes, los tres picos de consumo se corresponden con las tres temperaturas más altas del mes.

La relación del consumo con la ocupación es despreciable frente a la temperatura, excepto en los días no laborables, en los cuales la drástica disminución de la ocupación es la única causante del descenso en el consumo. En los días laborables, al ser la ocupación bastante estable, no tiene casi efecto en el consumo, como puede observarse en la cuarta semana del mes. En esta semana mencionada, se ve como el consumo aumenta los últimos tres días mientras que la ocupación disminuye. La explicación se puede encontrar en el aumento de temperatura externa de 24 °C a 30 °C en dichos días.

En términos globales, el consumo total del mes es de 1.800.704 kWh por lo que se trata del mes en el que más consumo se produce. El pico de consumo es de 75.082 kWh el día 31, mayor consumo de un único día de todo del año. Cabe destacar que, de todos los meses estudiados, los siete mayores consumos eléctricos tuvieron lugar en julio. Se puede ir entendiendo por tanto la importancia de la refrigeración en los edificios de MOB.

Tan importante es saber los datos de consumo diarios y totales como su distribución en función de su utilización. La Figura 18 contiene el consumo diario fragmentado en las diferentes necesidades del complejo.

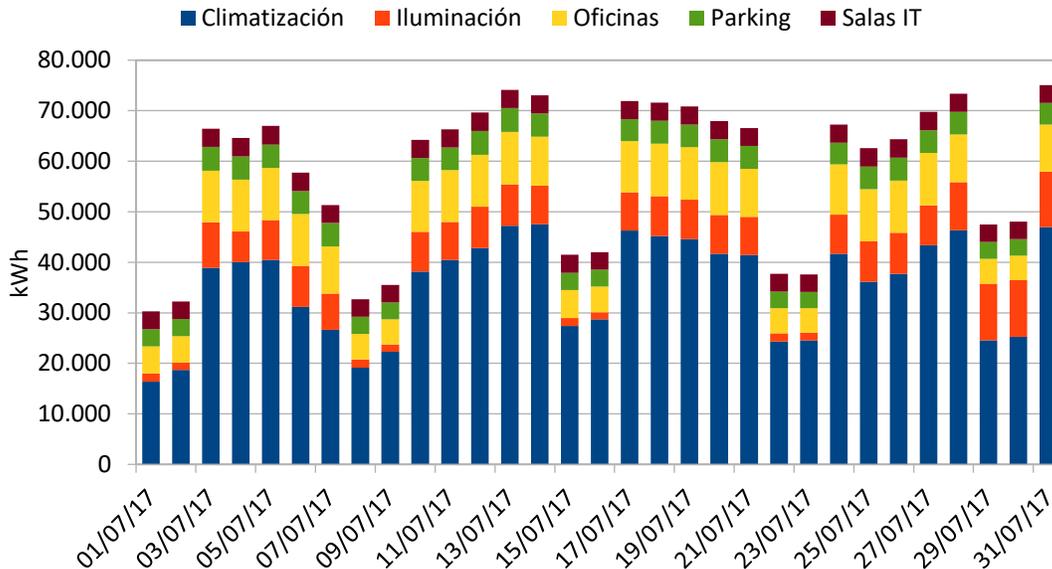


Figura 18. Distribución del consumo según usos en julio.

Se puede apreciar como el uso de la energía eléctrica en el complejo se divide en cinco usos.

- Climatización.
- Iluminación.
- Oficinas.
- Parking.
- Salas IT.

La Figura 18 confirma que la mayor parte de la energía consumida se dedica a la climatización del complejo, que tal y como se sospechaba se comprueba de forma visual que varía en función de la temperatura. Se puede concluir también que las oficinas y la iluminación son los siguientes consumos más importantes, mientras que el aparcamiento y las salas de tecnología de la información representan una menor porción. Para mayor exactitud, se muestra en la Tabla 12 la cantidad total consumida del mes y el porcentaje medio de cada uso.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	1.096.274	202.920	262.416	128.645	110.449
Peso sobre el total	60,9%	11,3%	14,6%	7,1%	6,1%

Tabla 12. Consumo total de energía según usos en julio.

4.3.2. Agosto

Agosto es un mes muy interesante para el análisis puesto que se trata del mes con menor ocupación media de los edificios de todo el año y las temperaturas son similares a julio. Específicamente, la ocupación total media diaria se sitúa en 3.738 personas y la ocupación media diaria es de 1.118 personas. Es decir, la ocupación media es del 55% del mes de julio. Respecto a las temperaturas, la media es de 27,4 °C, con un máximo de 32,8 °C y mínimo de 20,1 °C.

El consumo de energía eléctrica diario se muestra junto con las gráficas de temperatura y ocupación total en la Figura 19.

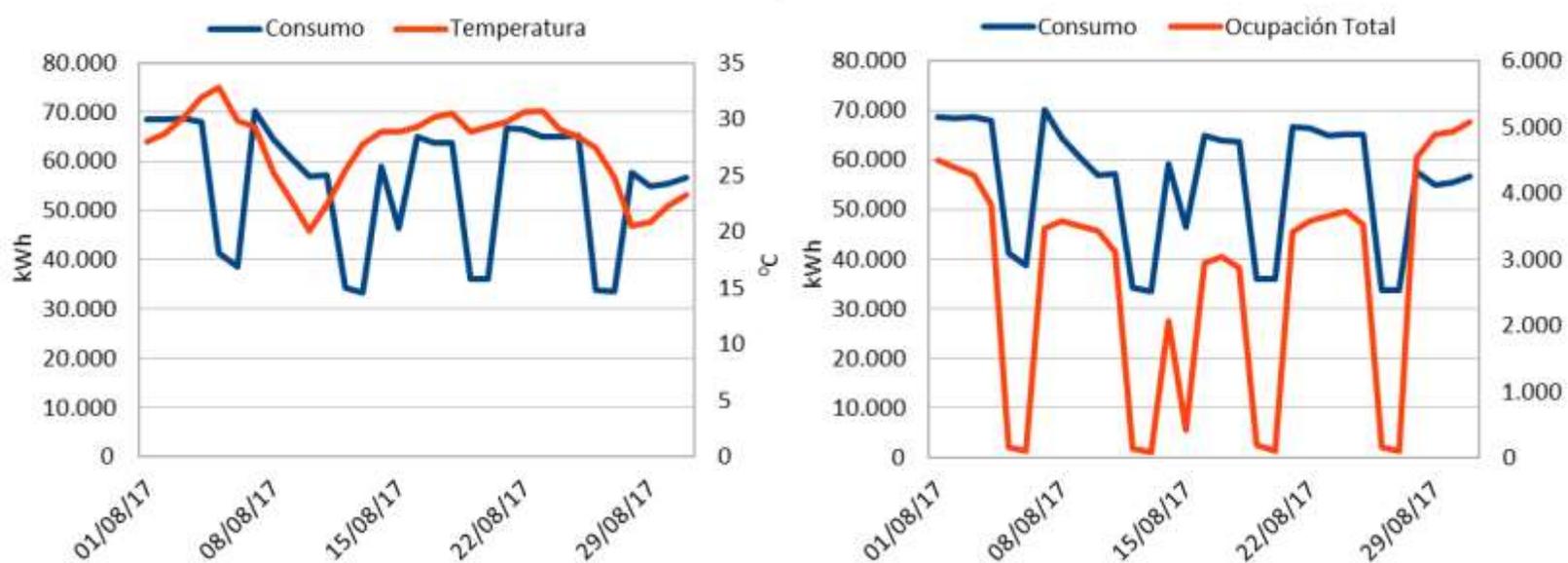


Figura 19. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en agosto.

En agosto se observan dos situaciones relacionadas con el consumo de electricidad no esperadas en términos de eficiencia que se explicarán a continuación para encontrar posibles soluciones.

En primer lugar, parece a simple vista que el consumo vuelve a estar totalmente relacionado con la temperatura como en el mes de julio, debido a la energía necesaria para el enfriamiento del complejo. No obstante, se perciben ciertas incongruencias en algunos días del mes. Se ha estudiado con más detenimiento el vínculo entre temperatura y consumo en los días laborables y se han marcado en la Figura 19 los días en los que pese a disminuir la temperatura exterior la energía utilizada aumenta.

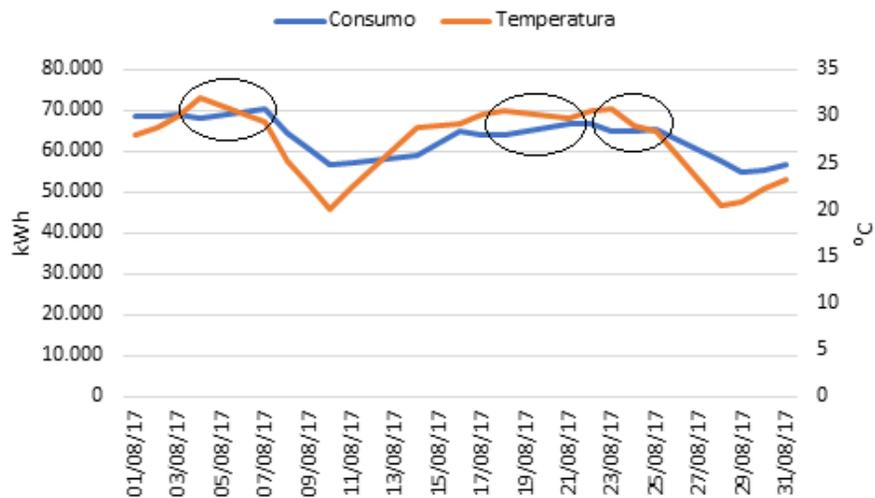


Figura 20. Relación entre consumo y temperatura en días laborables de agosto.

La Figura 20 resalta tres periodos de corta duración (de dos a cuatro días) en los cuales la temperatura disminuye y el consumo responde de forma opuesta. Puede pensarse que esta situación esté causada por una mayor ocupación, pero los datos dicen lo contrario, tanto la ocupación media como total se mantiene estable (variaciones despreciables) en dichos días. La información de los contadores de energía muestra que la causa de esta situación es el consumo de energía para la climatización del complejo. A modo de ejemplo, se recoge en la Tabla 13 el tercer periodo resaltado (23-25 de agosto).

Día	Climatización (kWh)	Ocupación media	Temperatura (°C)
23/08	41.412	1.123	30,7
24/08	41.718	1.136	29,0
25/08	42.621	1.084	28,4

Tabla 13. Ejemplo de climatización ineficiente.

Este ejemplo junto con el hecho de que en los dos días de consumo pico de climatización del mes la temperatura exterior no se encuentre entre los cinco superiores da lugar a concluir que la climatización en el mes de agosto está lejos de ser eficiente.

La segunda situación a la que se hacía referencia tiene que ver con el consumo en términos medios y totales. La media diaria de consumo en días laborables es de 63.091 kWh, un 94% de la media de julio. Tiene sentido que la media de consumo sea menor, puesto que la ocupación media del mes es significativamente inferior, pero no parece suficiente que la caída del consumo sea únicamente del 6%. Ante una

ocupación tan reducida y con temperaturas similares es consecuente que la cantidad de electricidad gastada se vea más afectada, y no es el caso.

El consumo total del mes es de 1.721.588 kWh, segundo mes del año con mayor demanda de energía eléctrica. Se produce una reducción del 4% respecto a julio, teniendo en cuenta que en julio hubo un día laborable menos. El pico de demanda es de 70.275 kWh el día 7, consumo mayor que varios días del mes de julio en los que la ocupación media es el doble y la temperatura media similar.

La información acerca de la cantidad de energía empleada en cada uso es clave para entender por qué el consumo de energía de agosto es menor. La Figura 21 aporta dicha información de valor.

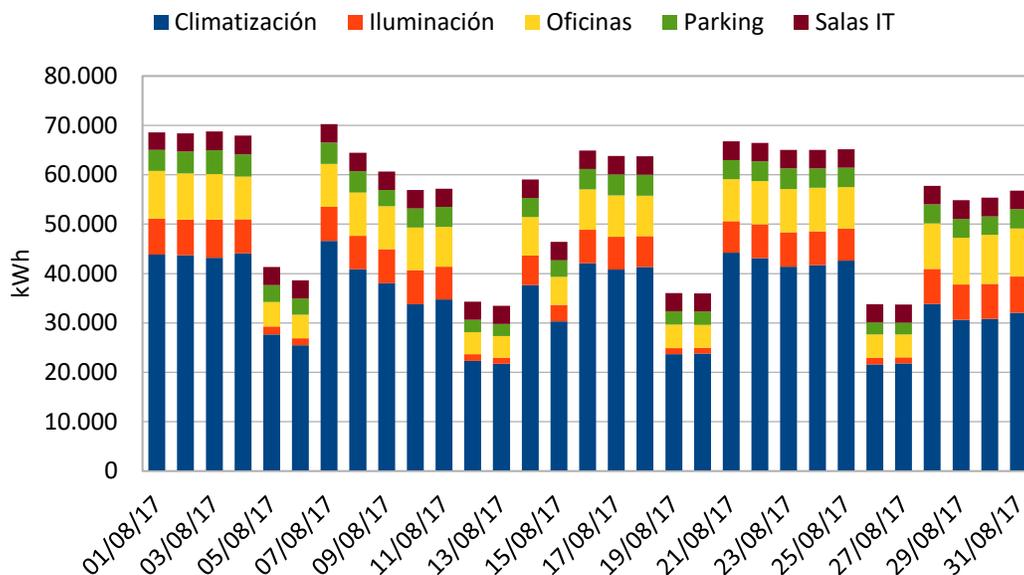


Figura 21. Distribución del consumo según usos en agosto.

Llama la atención la cantidad de energía consumida en climatización, se cuentan en la figura hasta 14 días en los cuales la climatización supera los 40.000 kWh, un día menos que en julio. Parece claro que es la causa que da lugar a tan considerable consumo en un mes con tan baja presencia de trabajadores. Los datos exactos de consumo total de cada uso se presentan en la Tabla 14. También se ha incluido la variación de electricidad consumida media de los días laborables, puesto que no sería preciso comparar la energía total al tener agosto un día laborable más que julio.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	1.089.478	165.080	236.778	114.950	115.302
Variación	-3,8%	-14,3%	-12,7%	-10,0%	3,8%
Peso sobre el total	63,3%	9,6%	13,7%	6,7%	6,7%

Tabla 14. Consumo total de energía según usos en agosto.

La Tabla 14 resulta totalmente esclarecedora. La demanda de iluminación, oficinas y aparcamiento sí experimenta una gran variación con respecto a julio, motivada por la presencia de un 45% menos de trabajadores. Por el contrario, la climatización se ve reducida solo un 3,8%, teniendo en cuenta que la temperatura media de los días laborables en agosto es de 26,95 °C por los 28,02 °C de julio (exactamente un 3,8% inferior).

4.3.3. Septiembre

Septiembre vuelve a tener la presencia habitual de trabajadores. La ocupación media en días laborables es de 2.111 personas (un 47% más que agosto) y la ocupación total media es 6.626 personas, también en días laborables. En cuanto a las temperaturas externas, desciende la media mensual a 22,2 °C. La temperatura máxima registrada es de 27,1 °C mientras que la mínima es de 16,2 °C. Conocidos los datos de temperatura y ocupación, la Figura 22 los muestra frente al consumo eléctrico diario.

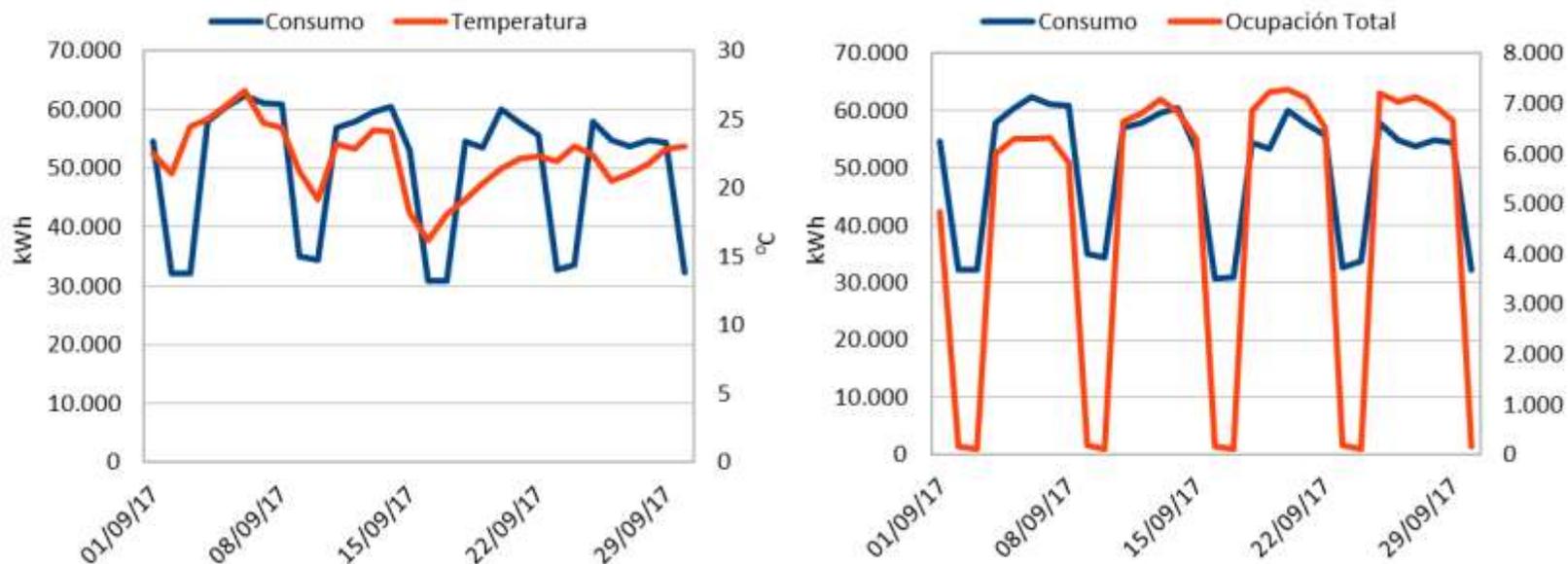


Figura 22. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en septiembre.

Se puede inferir que la fuerte bajada de las temperaturas tiene un gran efecto en el consumo. La media diaria se sitúa en 57.255 kWh (descenso del 9,25% respecto a agosto) los días laborables y 32.663 kWh los días no laborables.

El patrón de la curva de consumo sigue la tendencia de la temperatura diaria en los días laborables, por lo que parece que la climatización sigue teniendo un peso muy superior al resto de usos, que se ven afectados por la mayor ocupación (excepto las salas de tecnología de la información).

En términos globales, el consumo total del mes es de 1.496.329 kWh. El pico de consumo es de 62.422 kWh el día 6, el día más caluroso del mes. También cabe destacar que el día laborable de menos consumo coincide con el día más frío del mes (día 15). Esto demuestra que el gasto en climatización sí es acorde a la temperatura en este mes.

Respecto al peso de cada uso en el consumo diario, la Figura 23 representa esta información.

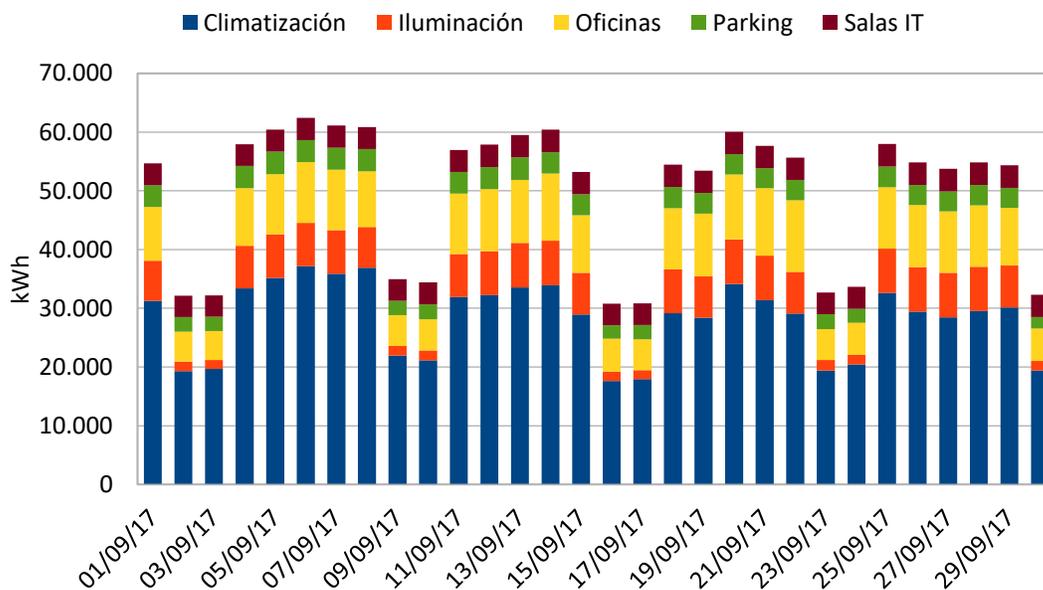


Figura 23. Distribución del consumo según usos en septiembre.

Como se sospechaba, vuelve a ser dominante la climatización, pese a que comienza a perder cierta influencia en el consumo total debido a la menor necesidad de refrigeración de los edificios. La demanda de energía de las oficinas comienza a ganar importancia en este escenario de mayor número de trabajadores y menores

temperaturas. Se puede observar el consumo total del mes en función de la utilización de la energía y su porcentaje sobre el total en la Tabla 15.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	849.613	168.984	267.337	97.396	112.999
Peso sobre el total	56,8%	11,3%	17,9%	6,5%	7,5%

Tabla 15. Consumo total de energía según usos en septiembre.

4.3.4. Octubre

El paso de estación de verano a otoño implica la continuación del descenso de temperaturas. La temperatura media exterior del complejo disminuyó un 14% en comparación con septiembre, situándose en 19,1 °C. La temperatura máxima del mes es de 24,1 °C mientras que la mínima es de 13,5 °C. El número de trabajadores en MOB durante este mes es bastante similar al anterior. La ocupación media de los días laborables es de 1.949 personas y la ocupación total media diaria es de 6.941 personas.

Tal y como se ha hecho en el análisis de cada mes, se ilustra en la Figura 24 el consumo diario frente a las dos variables comentadas.

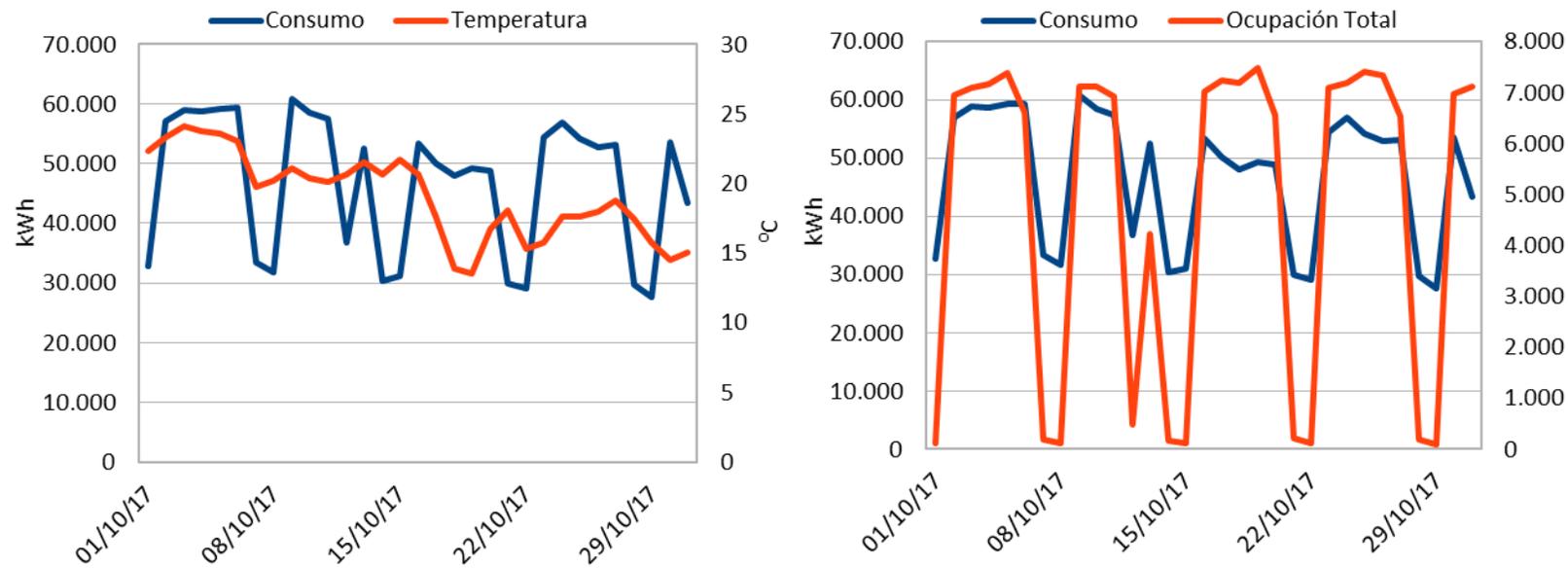


Figura 24. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en octubre.

La temperatura sigue siendo la principal influencia en el consumo de días laborables como puede verse en las gráficas. No obstante, pierde fuerza en favor del efecto causado por la ocupación del complejo. Esto se puede extraer de la cuarta semana del mes, en la cual la temperatura aumenta de 17,6 °C a 18,8 °C al mismo tiempo que el consumo disminuye debido al descenso de la ocupación en casi 900 personas en esos mismos días.

En octubre la media diaria de consumo de electricidad es de 54.343 kWh los días laborables (descenso del 5,1% respecto a septiembre) y 31.261 kWh los días no laborables.

El consumo total del mes es de 1.453.827 kWh. La tendencia descendente se debe a la menor carga de refrigeración. El pico de consumo es de 60.875 kWh el día 9. En este caso no coincide con el día de máxima temperatura, sino que se trata de un día con elevado número de trabajadores y una de las temperaturas más altas. Que el pico de consumo del mes esté provocado por una combinación de alta ocupación y temperatura ratifica lo expuesto anteriormente respecto a la transición hacia un menor dominio de la climatización frente a otros usos como iluminación y oficinas, que son más dependientes del número de trabajadores. Este cambio puede apreciarse en la Figura 25, en la cual se representa el consumo diario por usos de la energía.

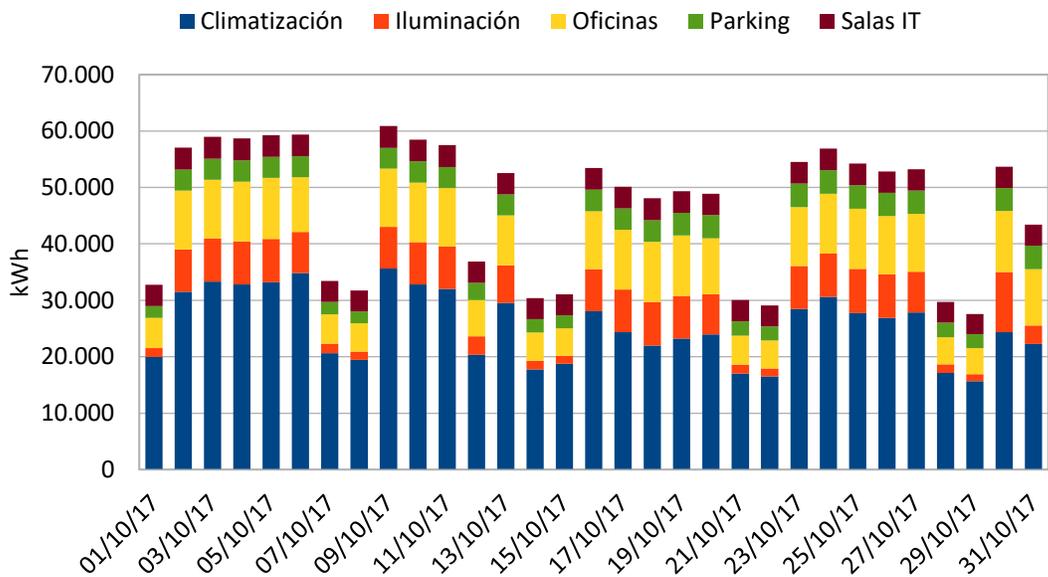


Figura 25. Distribución del consumo según usos en octubre.

Los datos exactos están contenidos en la Tabla 16. Si se compara con los meses de julio y agosto, el peso de la climatización sobre el total del consumo cae en torno a un 10%.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	788.702	172.910	268.643	106.221	117.351
Peso sobre el total	54,2%	11,9%	18,5%	7,3%	8,1%

Tabla 16. Consumo total de energía según usos en octubre.

4.3.5. Noviembre

El cambio más radical en la media de temperatura externa se produce en el mes de noviembre. La temperatura media mensual pasa de ser 19,1 °C en octubre a 10,9 °C en noviembre. El valor máximo de temperatura media diaria es de 16,1 °C y el mínimo es 5,1 °C. La ocupación registra valores más parecidos a los del mes anterior. La ocupación media diaria es de 1.949 trabajadores y la ocupación total media diaria es 6.941 personas.

Se relaciona el consumo diario de energía eléctrica tanto con la temperatura media como con la ocupación total en la Figura 26.

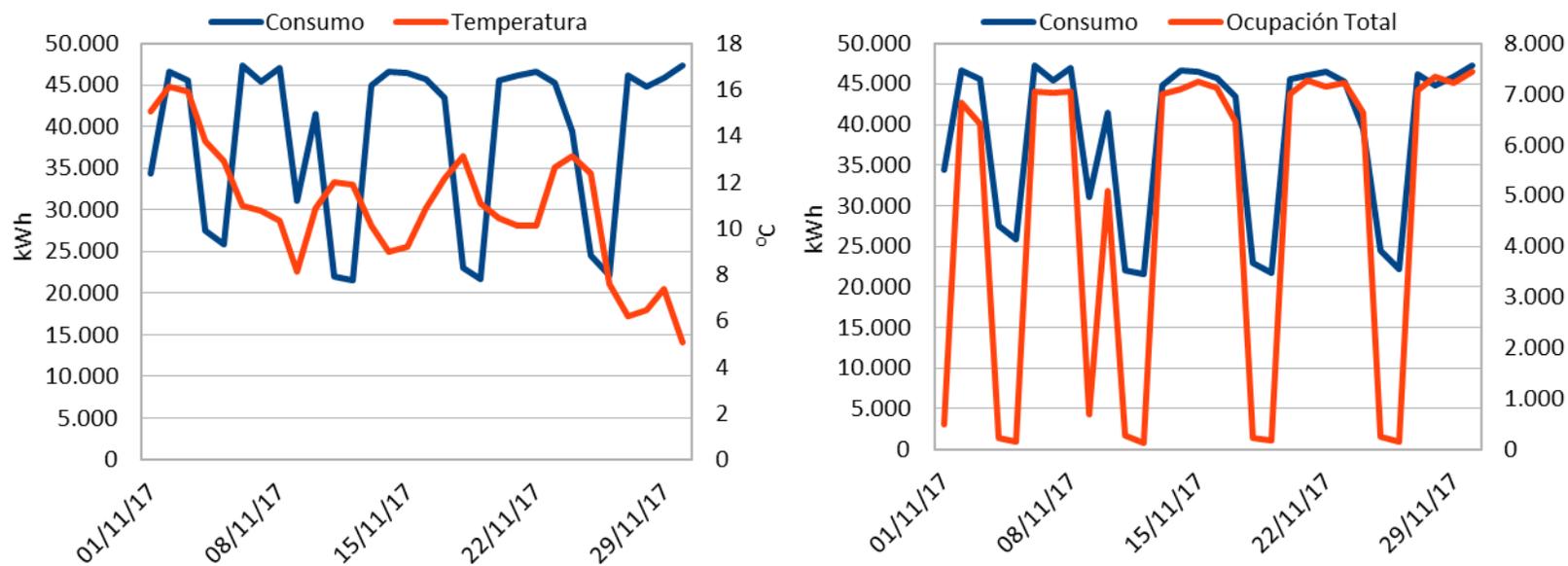


Figura 26. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en noviembre.

La media diaria de consumo de electricidad en noviembre es de 45.390 kWh los días laborables (descenso del 16,5% respecto a septiembre) y 25.369 kWh los días no laborables. Las temperaturas tan bajas hacen que el consumo en climatización sea simplemente el de la potencia base para climatizar el complejo. Como consecuencia se ve que el consumo total diario no sigue la tendencia de la temperatura, sino que se ajusta en mayor medida a la ocupación.

El consumo total del mes es de 1.161.485 kWh. El pico de consumo es de 47.317 kWh el día 6, únicamente un 4% superior al consumo medio diario en días laborables. Esto indica un consumo estabilizado en torno a la media debido al consumo aproximadamente constante de la climatización a temperaturas tan bajas.

A continuación, se exhibe en la Figura 27 el consumo de electricidad diario en función de cada uso.

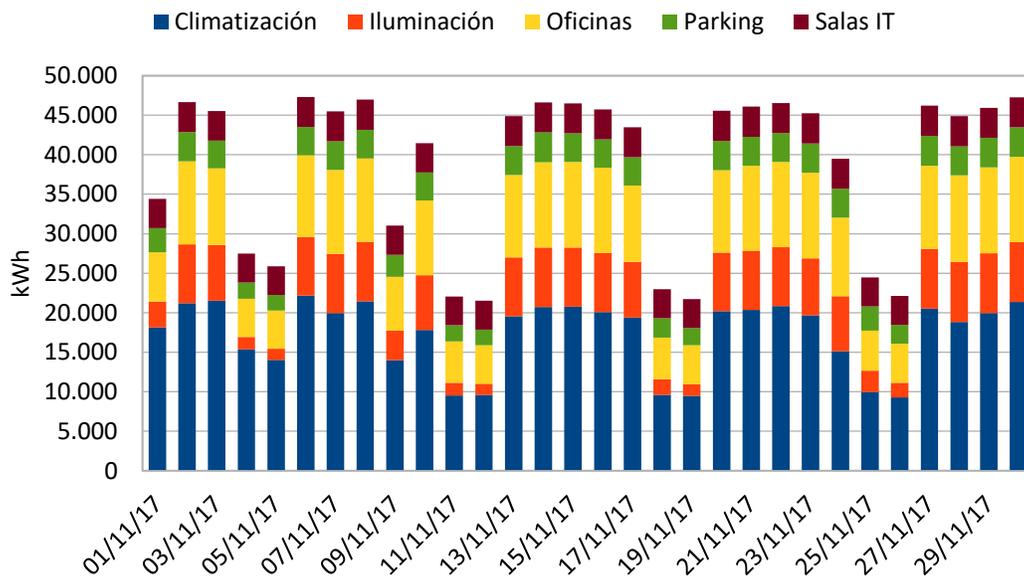


Figura 27. Distribución del consumo según usos en noviembre.

Por primera vez en todos los meses analizados se observa que el consumo en climatización supone menos de la mitad de la energía eléctrica total consumida. La información precisa se presenta en la Tabla 17.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	520.384	168.737	262.704	97.158	112.501
Representación	44,8%	14,5%	22,6%	8,4%	9,7%

Tabla 17. Consumo total de energía según usos en noviembre.

Se puede poner en perspectiva la influencia de la temperatura en el consumo total comparando los datos de la Tabla 17 con los datos de la Tabla 12 correspondiente al mes de julio. El consumo de las oficinas es exactamente el mismo, sin embargo, su peso es mucho mayor en noviembre. El motivo no es otro que la disminución en más de un 50% de la necesidad de climatización (enfriamiento en este caso).

4.3.6. Diciembre

Diciembre presenta estadísticas análogas a noviembre. La temperatura media mensual es de 7,5 °C, algo inferior. El valor máximo de temperatura media diaria es de 12,6 °C y el mínimo es 4,3 °C. Respecto a la ocupación, la media de los días laborables es de 1.990 trabajadores por 5.687 de ocupación total diaria media.

Se relaciona el consumo diario de energía eléctrica tanto con la temperatura media como con la ocupación total en la Figura 28.

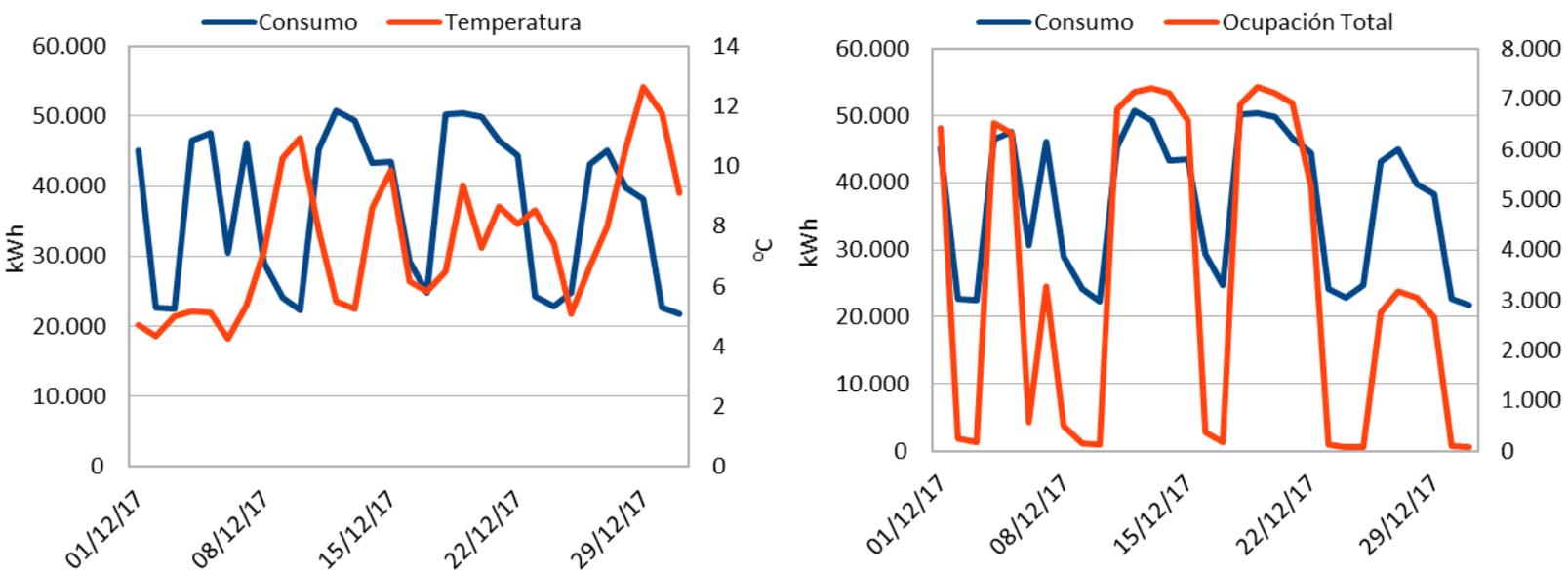


Figura 28. Consumo eléctrico frente a temperatura y ocupación en diciembre.

La media diaria de consumo de electricidad en diciembre es de 45.840 kWh los días laborables y 24.742 kWh los días no laborables. En cuanto a la relación entre consumo y temperatura/ocupación aplica lo expuesto en el apartado de noviembre.

La media diaria de consumo de electricidad en diciembre es de 45.840 kWh los días laborables y 24.742 kWh los días no laborables. En cuanto a la relación entre consumo y temperatura/ocupación aplica lo expuesto en el apartado de noviembre. El consumo total del mes es de 1.146.758 kWh y el pico de consumo es de 50.737 kWh el día 12.

El reparto de la energía eléctrica consumida en función de su utilización se representa en la Figura 29.

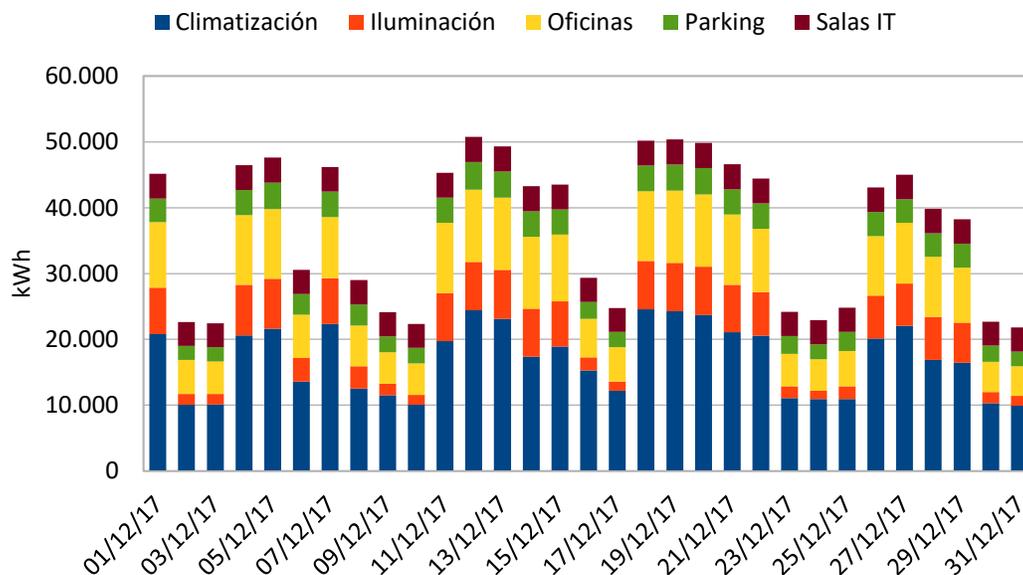


Figura 29. Distribución del consumo según usos en diciembre.

El perfil mostrado es prácticamente idéntico al del mes de noviembre. La información del consumo total mensual se muestra en la Tabla 18.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Consumo (kWh)	526.979	151.940	250.391	101.913	115.534
Representación	46,0%	13,2%	21,8%	8,9%	10,1%

Tabla 18. Consumo total de energía según usos en diciembre.

4.4. Análisis Completo del Consumo de Energía Eléctrica

Hasta ahora, se ha examinado de forma exhaustiva el consumo de energía eléctrica mensual desde julio hasta diciembre de 2017. Resulta interesante complementarlo con un análisis enfocado a valores totales del semestre, teniendo así una perspectiva más global.

La electricidad total consumida cada mes se muestra en la Figura 30. En esta figura se observa un constante decrecimiento desde julio hasta diciembre, cada mes cae el consumo. Específicamente, esta caída de consumo del semestre es del 36,3%. La energía total alcanza el valor de 8.780.691 kWh, o lo que es lo mismo, 8.781 MWh/medio año.

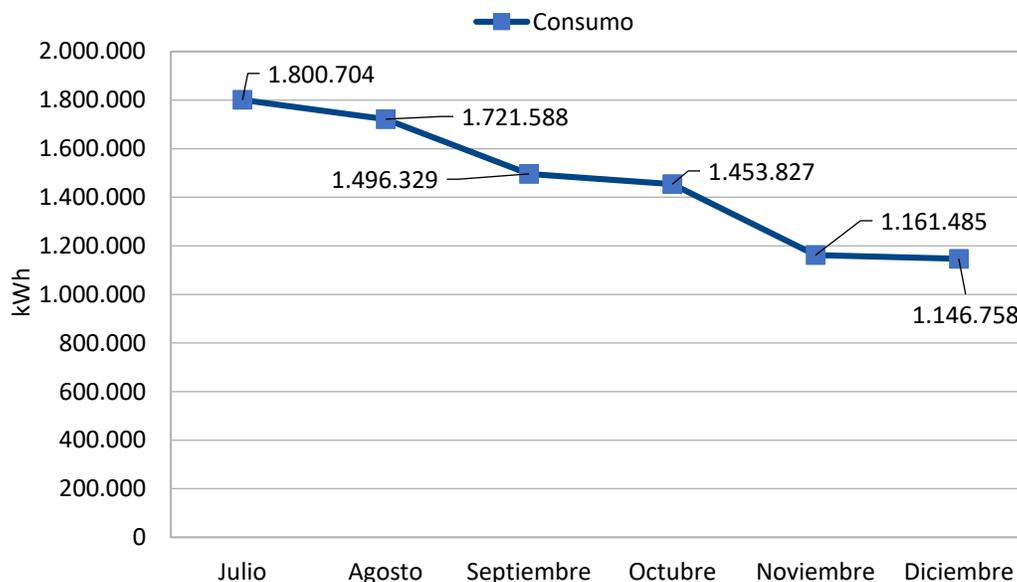


Figura 30. Consumo total mensual del semestre.

También se ha tratado en el anterior apartado el tema relacionado con el uso total de energía dependiendo de su utilización en el complejo de oficinas. Exponer en una sola figura el consumo mensual en función del uso de todo el semestre facilita la comprensión de los resultados y demuestra de forma inequívoca la relevancia de la climatización en MOB. La Figura 31 contiene la gráfica comentada en la cual se ve como la climatización marca el ritmo del consumo total, al ser un gasto muy superior al resto de usos. Esto no quiere decir que el resto de los usos no sufra variaciones a lo largo de los meses, sino que sus variaciones no suponen un gran efecto en el consumo total.

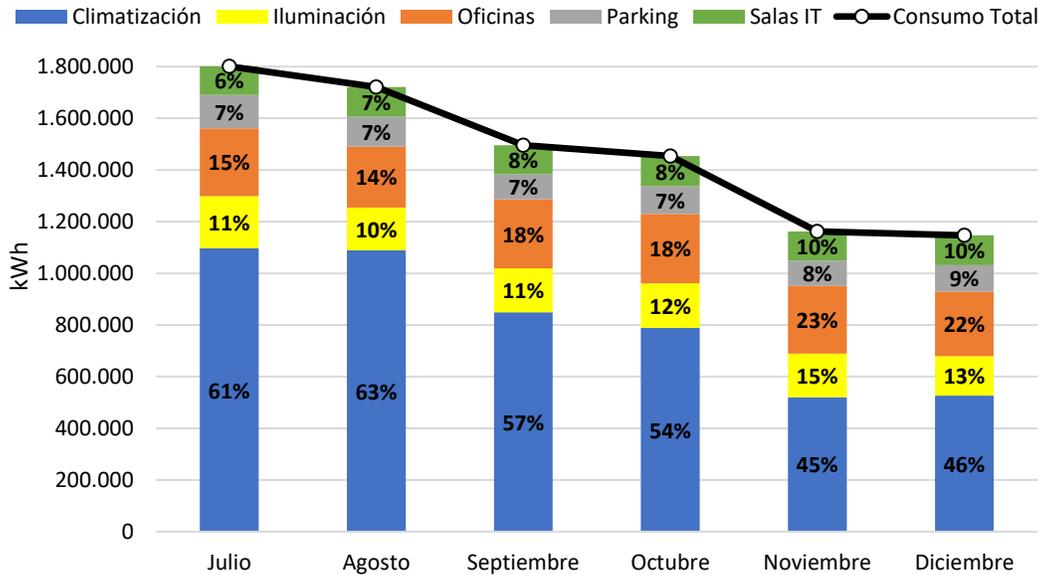


Figura 31. Distribución del consumo mensual según su uso.

La climatización representa el 55% del consumo total del semestre. Se ve cómo evoluciona de forma decreciente a medida que se requiere menos potencia de enfriamiento. El segundo consumo más importante es el debido a los equipos en funcionamiento en las oficinas, muy relacionado con el número de trabajadores presentes como se puede deducir observando el mes de agosto. La iluminación es el tercer mayor consumo, se logra reducir de forma importante esta demanda eléctrica gracias a la tecnología LED con detectores de presencia y regulación la potencia de iluminación en función de la luz natural.

Los datos de consumo de cada mes (en kWh) en función de su uso se recogen en la Tabla 19. Estos datos no aportan valor a las observaciones sobre la climatización, puesto que es perfectamente visible en la figura superior. No obstante, sí es trascendente a la hora de entender el consumo del resto de usos, que tienen un menor peso, pero contribuyen a la demanda total, por lo que se analizarán los factores que influyen en estos consumos más adelante.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Climatización	1.096.274	1.089.478	849.613	788.702	520.384	526.979	4.871.431
Iluminación	202.920	165.080	168.984	172.910	168.737	151.940	1.030.571
Oficinas	262.416	236.778	267.337	268.643	262.704	250.391	1.548.269
Parking	128.645	114.950	97.396	106.221	97.158	101.913	646.283
Salas IT	110.449	115.302	112.999	117.351	112.501	115.534	684.137

Tabla 19. Consumo total de energía mensual según usos.

También es importante destacar los consumos máximos diarios de cada uso y que motiva esos picos de demanda. La Tabla 20 contiene esta información.

	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT
Valor pico kWh/día	47.534	11.183	12.223	4.868	3.889

Tabla 20. Valores pico de consumo según uso.

Resulta poco coherente que julio sea el mes en el que el consumo en iluminación es mayor. No solo eso, sino que es incluso un 25% mayor que el consumo en diciembre o un 17% mayor que en noviembre, que son meses con menos horas al día de luz natural. Esto no solo tiene implicaciones en el propio consumo en iluminación, sino que además esta excesiva iluminación aumenta la carga térmica de los edificios provocando que la potencia necesaria de refrigeración sea mayor de lo previsto. Claramente hay margen de mejora en este aspecto para mejorar la eficiencia en el consumo del complejo de oficinas MOB.

Volviendo a la climatización, se ha observado y mencionado varias veces el enorme impacto que ejerce la temperatura exterior en este uso de la energía. Dada la significativa representación de la climatización en el consumo total, se espera que exista una fuerte asociación entre este último y la temperatura. Se ha realizado un análisis de regresión lineal simple entre estas dos variables, tomando como datos todos los días de julio a diciembre, distinguiendo entre días laborables y días no laborables. Los resultados de la regresión se pueden encontrar en la Figura 32, donde el coeficiente de determinación indica que la temperatura explica el 83,1% del consumo en los días laborables, y el 72,5% en días no laborables.

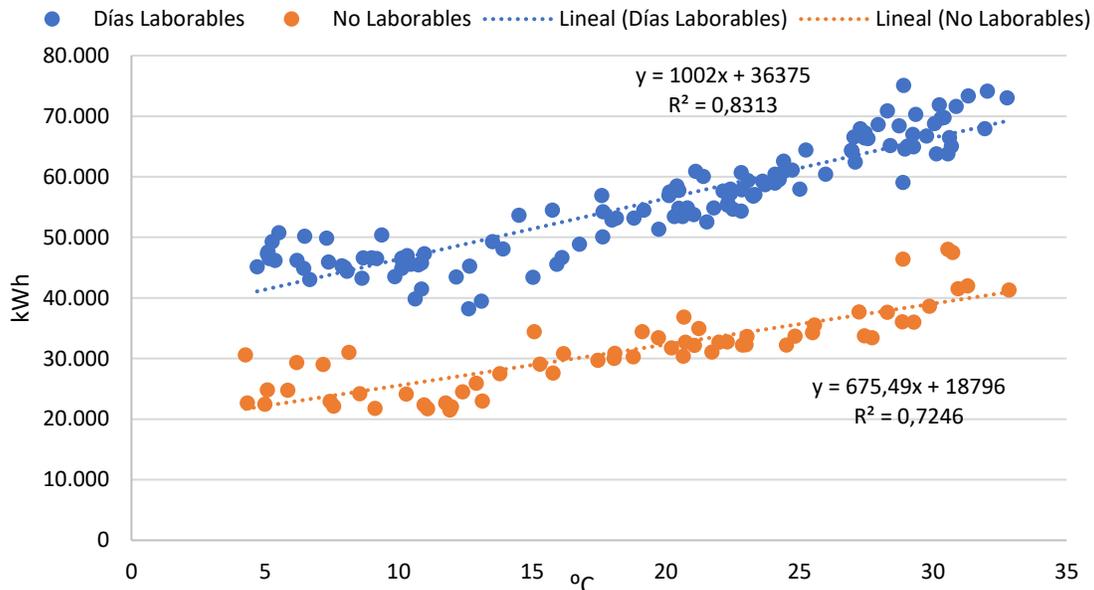


Figura 32. Regresión lineal consumo total-temperatura.

Esta es una muy buena aproximación, pero al no tener en cuenta otras variables como la ocupación no es perfecta. Podría servir como modelo simple para estimar el consumo total diario conocida la temperatura.

Puesto que se tienen únicamente los datos completos del último semestre del año, se va a realizar un modelo más completo que calcule el consumo total mensual. De esta manera se podrá calcular el consumo total anual y evaluar indicadores como la cantidad de energía consumida en el año por unidad de superficie, o por trabajador.

El modelo calculará el consumo mensual a partir de:

- Temperatura externa (T_{ext}).
- Ocupación total diaria media mensual (O_T).

Con estos parámetros de entrada se procederá a evaluar por separado el consumo de electricidad de cada uso, puesto que se ven afectados de distinta forma y por diferentes parámetros. El último paso del modelo consistirá en agregar todos los consumos parciales hasta tener el consumo total mensual.

Para encontrar la relación entre los parámetros de entrada y el consumo mensual de cada uso se llevarán a cabo análisis de regresión lineal (tanto simple como múltiple) con un nivel de confianza del 95%. Se seguirá el mismo orden establecido en las gráficas y tablas del proyecto: climatización, iluminación, oficinas, parking, salas IT.

La variable correspondiente a la climatización únicamente tiene como variable explicativa la temperatura media externa mensual ya que el p-valor de ocupación diaria y ocupación total superaban el 5%. El coeficiente de determinación ajustado es del 95,7%, por lo que es casi exacto. La ecuación que relaciona el consumo en climatización y la temperatura es:

$$E_{\text{climatización}} = 241.982 + 29.857 \cdot T_{\text{ext}}$$

En cuanto a la variable de iluminación, el análisis de regresión determina que tanto la temperatura externa como la ocupación total son explicativas (p-valor < 0,05), no así la ocupación media. El coeficiente de determinación ajustado es del 76,33% y la ecuación que relaciona las variables es:

$$E_{\text{iluminación}} = 39.897 + 1.669 \cdot T_{\text{ext}} + 25,04 \cdot O_T$$

El consumo de electricidad correspondiente a las oficinas está claramente relacionado con la ocupación total del complejo ya que tiene que ver con el consumo de ordenadores y impresoras y demás equipos usados por los trabajadores. El coeficiente de determinación ajustado tiene un valor del 94,2% para esta regresión, lo que indica su gran precisión. La ecuación que asocia ambas variables es:

$$E_{\text{oficinas}} = 200.795 + 14,05 \cdot O_T$$

La energía consumida por las instalaciones de aparcamiento sigue una tendencia con cierto orden, aunque de forma más errática que los demás usos ya estudiados. Se debe, entre otros motivos, a los puntos de recarga para vehículos eléctricos, que son usados por los usuarios en función de sus necesidades. Aun así, guarda relación con la temperatura externa y la ocupación total (R^2 ajustado igual a 67,8%) de la siguiente manera:

$$E_{\text{parking}} = 66.820 + 970,3 \cdot T_{\text{ext}} + 5,78 \cdot O_T$$

Por último, la electricidad consumida por las salas de tecnología de la información es totalmente independiente de las variables de entrada. Depende única y exclusivamente de la cantidad de servidores y demás dispositivos funcionando. Este tipo de consumo apenas experimenta cambios a lo largo de los meses (la diferencia entre el pico máximo y el mínimo es del 4%). Para el modelo se tomará como consumo fijo, con un valor igual a la media de los meses de los cuales se dispone información. Así:

$$E_{salas IT} = 114.023 \text{ kWh/mes}$$

Ya se tienen todas las ecuaciones implicadas en el modelo. El siguiente paso es conocer tanto la temperatura exterior media mensual como la ocupación total de cada mes del primer semestre del año. Los datos climáticos se pueden extraer de la Figura 4. Se aplicará un factor de corrección $F=1,2$ debido a que la temperatura media exterior registrada por los sistemas de monitorización de MOB corresponde exclusivamente a las horas de la jornada laboral, por lo que los descensos de temperatura nocturnos no se tienen en cuenta en el modelo. Por otra parte, la ocupación total media mensual está definida por la relación entre días laborables, días de fin de semana, fiestas y vacaciones de cada mes (semana santa y puentes principalmente) por lo que se tomarán valores similares a meses con el mismo perfil de días. Se recogen en la Tabla 21 los valores de estas variables para los meses de enero a junio.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
$T_{ext} (^{\circ}C)$	6,6	8,5	12,2	14,6	19,4	26,0
O_T	4.700	4.750	4.650	4.000	4.700	4.500

Tabla 21. Parámetros del modelo de estimación de consumo mensual.

Introduciendo estos datos en el modelo se obtienen los resultados finales. Antes de nada, se ha probado el modelo con los meses de los que se dispone la información con la que se ha realizado, para evitar errores y comprobar su funcionamiento. El consumo total del semestre difiere en un 0,25% del real, por lo que se puede afirmar que el modelo es bastante satisfactorio. La Tabla 22 contiene los resultados del modelo y la Figura 33 la distribución del consumo mensual del año completo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	TOTAL
Climatización	439.038	495.767	606.237	677.894	821.208	1.018.264	4.058.408
Iluminación	168.600	173.024	176.695	164.424	189.964	195.971	1.068.678
Oficinas	266.830	267.533	266.128	256.995	266.830	264.020	1.588.335
Parking	100.390	102.523	105.535	104.106	112.810	118.058	643.421
Salas IT	114.023	114.023	114.023	114.023	114.023	114.023	684.138
TOTAL	1.088.882	1.152.868	1.268.617	1.317.443	1.504.834	1.710.336	8.042.980

Tabla 22. Resultados del modelo de cálculo de consumo mensual.

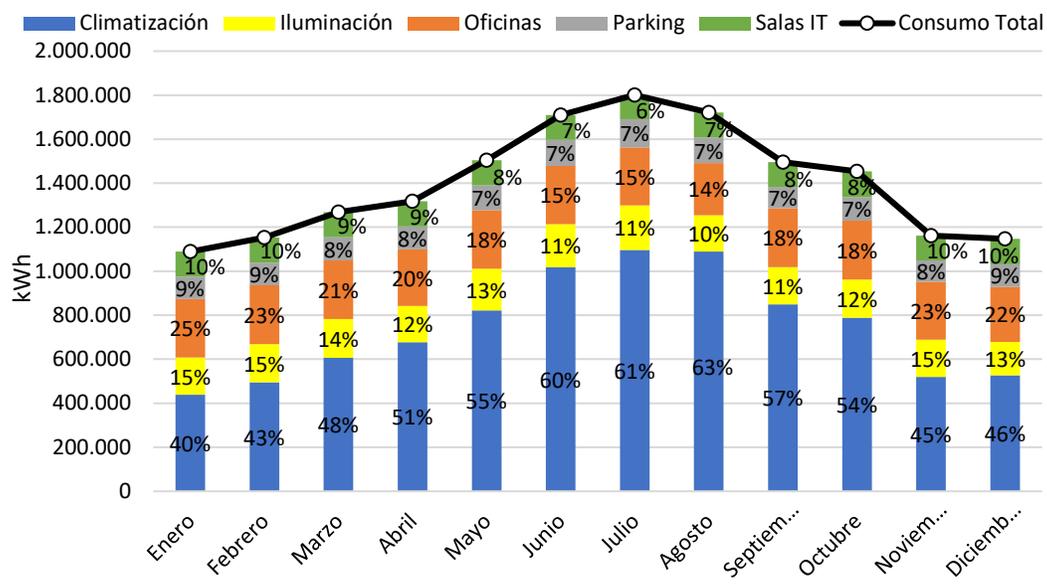


Figura 33. Distribución del consumo mensual del año completo según su uso.

Los resultados parecen bastante ajustados a la realidad. El consumo total del semestre simulado es menor respecto del real debido a la demanda de climatización, lo cual tiene fundamento puesto que las temperaturas son inferiores en media.

El consumo total anual es de 16.823.671 kWh. Es de interés calcular la energía eléctrica anual consumida por unidad de superficie. El aparcamiento no forma parte de la superficie del complejo puesto que no se tendrá en cuenta para este cálculo. El consumo total anual sin contar con el parking es de 15.533.967 kWh. Así:

$$\frac{E_{anual}}{S} = \frac{15.533.967 \frac{kWh}{año}}{114.000 m^2} = 136,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

Este mismo indicador, pero referido a la climatización:

$$\frac{E_{Climatización_anual}}{S} = \frac{8.929.839 \frac{kWh}{año}}{114.000 m^2} = 78,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

Este tipo de indicador no es considerado exactamente parámetro de eficiencia como tal, pero sí son útiles para comparar cuanto de eficiente es el complejo de oficinas comparado con otros edificios equivalentes. Es más bien un indicador complementario. Se debe tener en cuenta que no es objeto de este proyecto el

estudio del consumo de gas natural para calefacción y agua caliente sanitaria, por lo que se refieren estrictamente a energía eléctrica.

La cantidad de emisiones de dióxido de carbono anuales sí es considerado por el IDAE un indicador principal de eficiencia energética. Del *Informe del Sistema Eléctrico Español 2017* publicado por Red Eléctrica de España se obtiene la información pertinente para poder realizar la estimación del indicador. Se emitieron 74,9 millones de toneladas de CO₂ al general 268.140 GWh, arrojando un resultado de $0,38 \frac{kg CO_2}{kWh}$. Se tendrán en cuenta las pérdidas en la red de transporte y distribución aplicando un factor de corrección al consumo igual a F=1,1. Asimismo, se descontarán de la energía consumida los 750.000 kWh generados en el año por la instalación solar fotovoltaica.

Con estos datos se obtienen unas emisiones de:

$$\text{Consumo total} = 82,4 \frac{kgCO_2}{m^2 \cdot \text{año}}$$

$$\text{Climatización} = 49,8 \frac{kgCO_2}{m^2 \cdot \text{año}}$$

4.5. Gas Natural

Las necesidades del complejo de oficinas relacionadas con la demanda de agua caliente sanitaria y calefacción se cubren principalmente con gas natural. Además de la contribución de las instalaciones de energía geotérmica y solar térmica con las que cuenta el complejo.

La demanda más importante es la de calefacción en los meses de invierno por lo que se estimará, al no contar con los datos, el consumo de gas natural del complejo sabiendo las características de funcionamiento de este.

Se sabe que el tiempo de ocupación de los edificios es 16 horas. También se conoce la curva de funcionamiento, ver Figura 34, y la relación entre los días laborables y no laborables (66%-34% respectivamente).

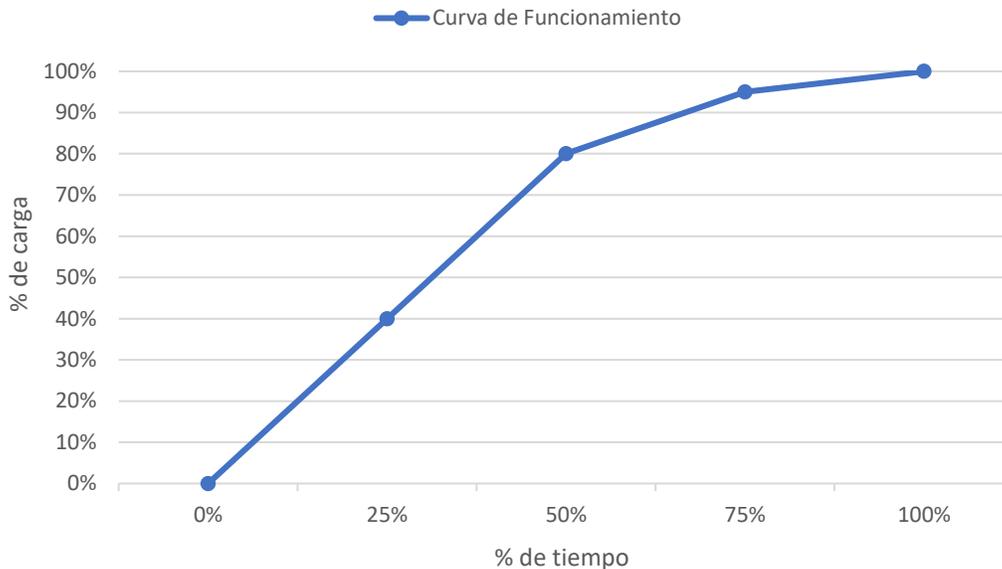


Figura 34. Curva de carga del complejo.

Sabiendo que el periodo de calefacción comprende 182 días (4.368 horas) y la relación mencionada, el periodo se divide en 1.920 horas laborables y 2.448 no laborables. La diferencia en el consumo entre las horas no laborables y las laborables es de un 60%, siendo la demanda máxima de calefacción de 8.400 kWh.

Con todos estos datos y descontando la aportación de las energías renovables, se calcula que el consumo de gas natural anual es de 10.995.216 kWh. Incluyendo este consumo, y sabiendo que las emisiones por kWh de gas natural son de 0.22 kgCO₂, se pueden estimar los indicadores de eficiencia de forma completa.

$$\frac{E_{anual}}{S} = 232,7 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

$$\frac{E_{Climatización_anual}}{S} = 174,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

$$\text{Consumo total} = 103,6 \frac{kgCO_2}{m^2 \cdot año}$$

$$\text{Climatización} = 77,7 \frac{kgCO_2}{m^2 \cdot año}$$

4.6. Conclusiones

En este apartado se van a exponer las conclusiones extraídas del análisis de consumo de energía del complejo. La primera conclusión, ya mencionada numerosas veces, es la enorme influencia de la temperatura exterior en el consumo total de MOB, motivada por la alta carga de refrigeración. La producción de frío es el consumo más importante de todos y es muy sensible a variaciones de temperatura, especialmente a partir de los 10 °C en adelante. Este hecho se evidencia en el aumento del consumo de los meses más calurosos.

Se ha elaborado una gráfica que relaciona la temperatura exterior con el consumo en la climatización y que contiene el consumo total, de manera que resulta fácilmente visible esta primera conclusión a la que se ha llegado. Para ello se han tomado todos los datos que se poseen y se han ajustado a una curva polinómica de segundo grado, que muestra claramente un consumo casi estable hasta los 10 °C y comienza a crecer progresivamente a medida que aumenta la temperatura. Puede verse en la Figura 35.

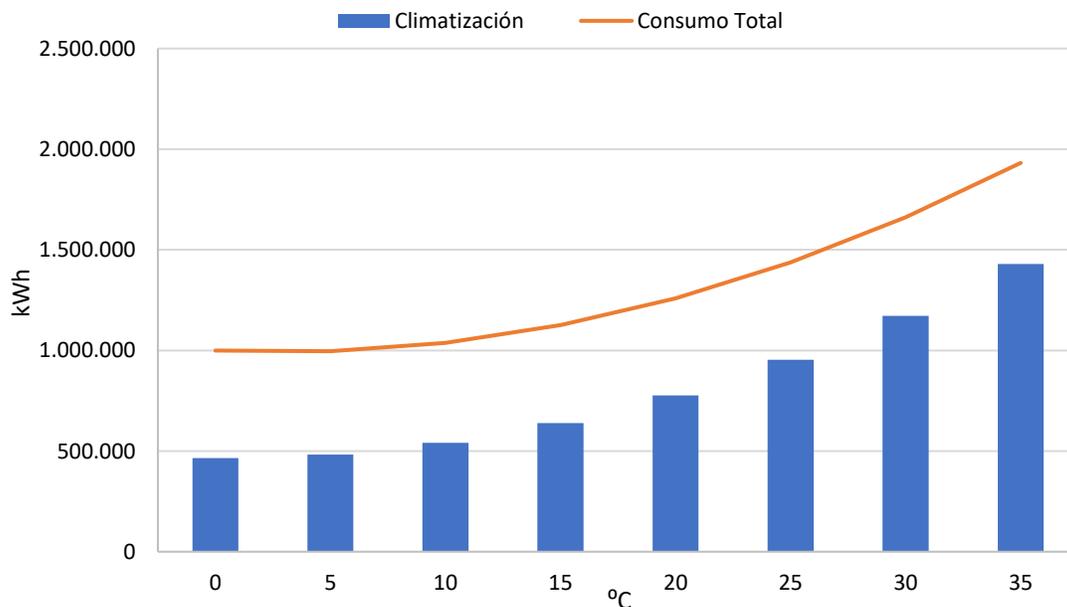


Figura 35. Relación entre temperatura exterior y climatización.

La segunda conclusión a la que se ha llegado tiene que ver con la escasa eficiencia en el consumo en climatización del mes de agosto. La temperatura media de agosto es semejante a la de julio (un 4% inferior en días laborables) pero la ocupación de agosto es hasta un 45% menor. Hay una diferencia de 1.500 personas de media al día entre

estos dos meses. Esto da lugar a una disminución del consumo en iluminación (caída del 19%) y oficinas (10% menos).

El importante descenso en el número de trabajadores conlleva una menor carga térmica de refrigeración. A 27 °C (temperatura media de julio y agosto) las cargas térmicas en un ambiente de trabajo de oficina moderado son:

- Carga sensible: 58 W/persona.
- Carga latente: 76 W/persona.

Así, la carga efectiva es de 134 W/persona. Teniendo en cuenta las 1.500 personas menos de media, la carga térmica debida a la ocupación se reduce en 200kW. Sabiendo que agosto tiene 22 días laborables y que hay alrededor de 16 horas al día de actividad significativa en los edificios, la carga se reduciría en algo más de 70.000 kWh al mes. Además, el menor consumo en iluminación y oficinas también repercute en las cargas térmicas, por lo que aún se reduciría más la necesidad de enfriamiento.

Pese a esto, la electricidad destinada a la climatización es prácticamente idéntica en ambos meses, lo que hace indicar que la gestión de la climatización es bastante ineficiente en este mes y merece ser revisado.

Otra conclusión obtenida en este análisis es el ineficiente uso de la iluminación en el mes de julio. No es objeto de este proyecto proponer medidas de ahorro para la iluminación, pero sí se expondrá brevemente lo que se ha observado. Comparando los datos mensuales de consumo según los usos se ha visto que la mayor demanda en iluminación se produce en julio. Hay hasta un 25% de diferencia entre julio y diciembre en este aspecto. No parece tener sentido este gran gasto, que además es causante de una mayor carga térmica para la refrigeración.

Por último, es posible hacerse una idea de la eficiencia global en el consumo de energía eléctrica del complejo comparando los indicadores calculados en el anterior apartado. En el documento *Calificación de la eficiencia energética de los edificios* publicado por IDAE se explica el procedimiento para calificar la eficiencia energética de los edificios. Este procedimiento consiste en comparar los indicadores calculados con unos indicadores correspondientes a un edificio de parecidas características físicas, pero que hace uso de tecnologías convencionales (iluminación, equipos y climatización).

Se han tomado los datos de consumo anual y emisiones de dióxido de carbono de un estudio realizado en otro proyecto anterior a este, en el que se calculan a través de una herramienta informática de cálculo de eficiencia energética.

Los resultados se representan en la Tabla 23.

	Consumo anual (kWh/m ²)		Emisiones (kgCO ₂ /m ²)	
	Total	Climatización	Total	Climatización
Complejo MOB	232,7	174,8	103,6	77,7
Edificio de Referencia	400,0	273,3	188,5	121,4
Índice de calificación	0,58	0,64	0,58	0,64

Tabla 23. Comparación de indicadores de eficiencia.

El índice de calificación determina la certificación de eficiencia energética. Dado que todos ellos se encuentran en el intervalo [0,4; 0,65] se puede concluir que MOB se encuentra en la categoría B, segunda categoría más eficiente posible (nótese que la calificación A es muy poco habitual, solo un porcentaje residual de edificios la poseen).



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

5. ANÁLISIS DEL COSTE DE LA ENERGÍA

El presente apartado de este documento tiene como objetivo exponer y examinar el coste de la energía consumida durante el año por el complejo de oficinas. Se tiene información acerca del gasto económico diario correspondiente a los meses comprendidos entre julio y octubre incluidos, por lo que se cuenta con algo menos de información con respecto al consumo de energía. Es posible ver los datos diarios de cada mes en el Anexo 5.

Nótese que el coste de la energía consumida que se va a analizar no se trata únicamente del precio del kWh, sino que está compuesto por los siguientes términos:

- Coste del alquiler de equipos.
- Coste referido a la potencia contratada (kW).
- Coste de la energía consumida (kWh).

El elemento más influyente en el precio pagado por la energía consumida es el coste del kWh, que es variable. Cambia cada hora del día y cada día. Por este motivo suele ser habitual debido a su conveniencia la gestión del coste de la energía a través de contratos a futuros con comercializadoras para eliminar los riesgos derivados del pool eléctrico.

5.1. Coste Mensual

5.1.1. Julio

Tal y como se ha explicado a lo largo de este proyecto el consumo de energía eléctrica alcanza su cota máxima en julio debido a las necesidades de enfriamiento. Sin embargo, la factura del mes no es la más abundante de las disponibles para análisis. La Tabla 24 contiene un resumen de los costes de la energía pagados en julio. Se ha calculado el coste total del mes, el coste medio diario, el coste por unidad de energía y el coste por unidad de trabajadores presentes en media.

Coste total (€)	Coste medio (€)	€/kWh	€/ocupación	
			Días laborables	Días no laborables
175.158	5.650	0,098	1,1	29,8

Tabla 24. Resumen costes en julio.

Se desea comprobar la relación entre el importe diario y la energía consumida. Se puede observar tal relación en la Figura 36.

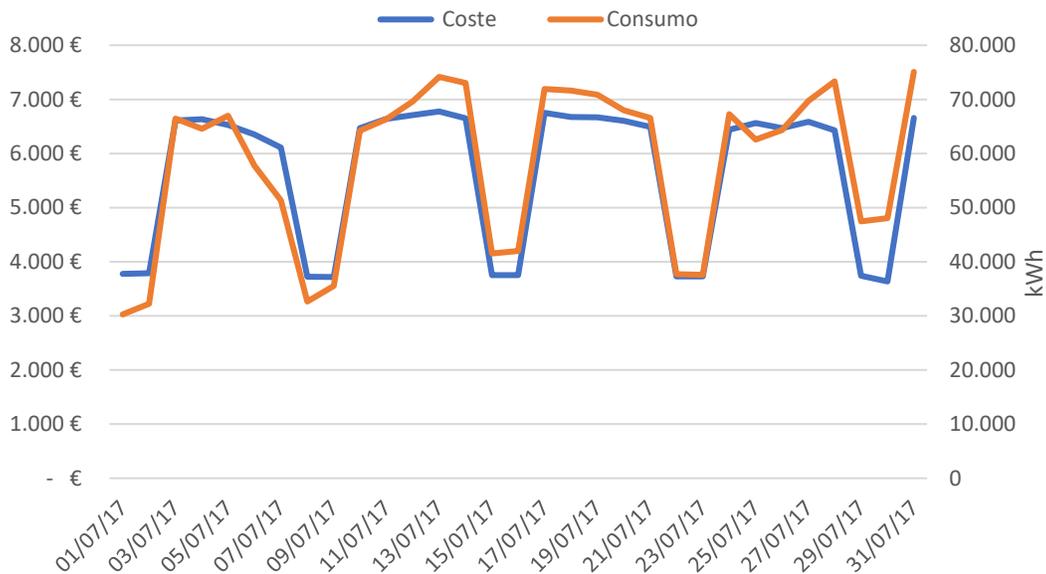


Figura 36. Relación entre coste y energía en julio.

Se puede ver como el coste sigue la tendencia marcada por la energía demandada. El precio diario se mantiene en el intervalo [3.000€; 7.500€].

5.1.2. Agosto

El mes de agosto presenta unos registros en cuanto a coste total, coste medio y coste por unidad de energía análogos al de julio. El coste por unidad de ocupación aumenta sensiblemente puesto que la media de trabajadores disminuye en agosto y tanto el consumo de energía como su coste se mantienen casi idénticos. Estos valores se encuentran en la Tabla 25.

Coste total (€)	Coste medio (€)	€/kWh	€/ocupación	
			Días laborables	Días no laborables
170.684	5.506	0,103	1,6	37,8

Tabla 25. Resumen costes en agosto.

Es interesante mencionar que la pequeña diferencia del 5% en el coste unitario (€/kWh) entre los dos meses está relacionada con el mayor consumo en el mes de julio (también de alrededor del 5%). A mayor consumo se abarata el coste unitario de la energía al ir disminuyendo el peso de los términos fijos.

La figura 37 ilustra las curvas de coste diario y consumo (kWh) diario, pudiéndose observar la relación entre ambas variables.

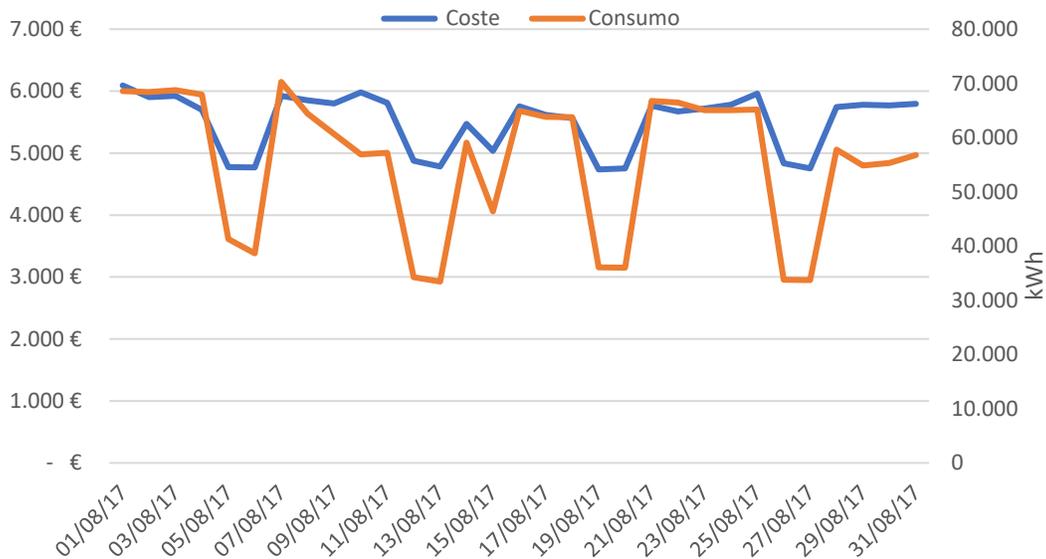


Figura 37. Relación entre coste y energía en agosto.

5.1.3. Septiembre

En el mes de septiembre hay un descenso en el consumo de energía eléctrica del 13% con respecto a agosto. Esta caída no se ve reflejada en la factura del mes como puede deducirse de la Tabla 26.

Coste total (€)	Coste medio (€)	€/kWh	€/ocupación	
			Días laborables	Días no laborables
216.343	7.211	0,147	1,2	38,6

Tabla 26. Resumen costes en septiembre.

No solo no se ve reflejada, sino que la factura del mes aumenta del orden de un 27%. Se aprecia en la subida del coste unitario el mayor cargo variable en el gasto diario. El ratio coste/ocupación sí se mantiene constante frente a los anteriores meses.

En la Figura 38 se ve como pese a no sobrepasar los 60.000 kWh de demanda ningún día, el precio diario oscila entre los 5.000 € y 8.000 €.

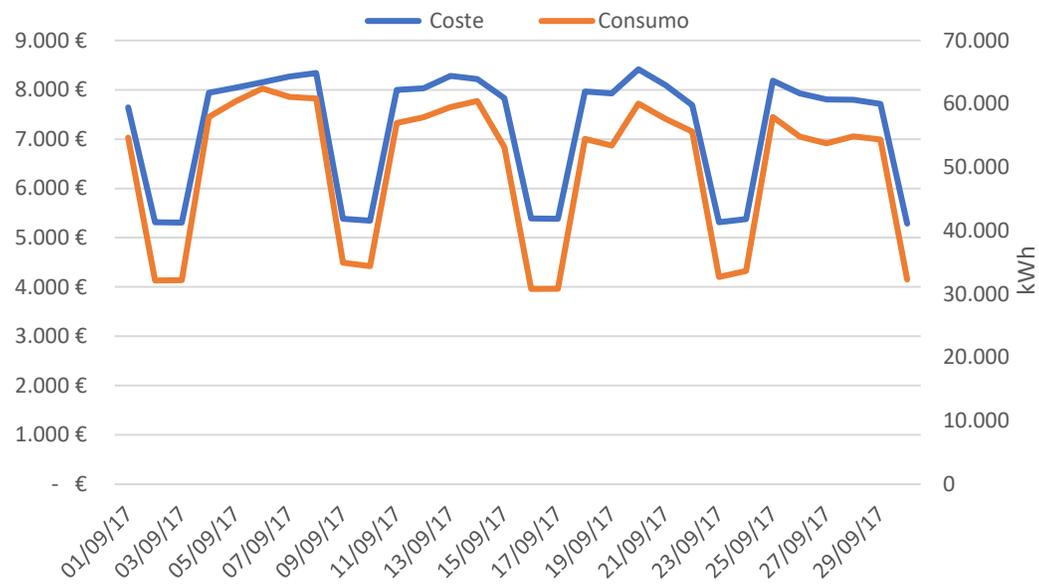


Figura 38. Relación entre coste y energía en septiembre.

5.1.4. Octubre

El coste total del mes de octubre es igual al de septiembre teniendo en cuenta que dispone de un día más, lo cual puede deducirse entre ambos meses en el coste medio diario. El coste por unidad de energía consumida sigue aumentando, esta vez ligeramente, y supera la línea de los 15 céntimos por kWh consumido. No así la relación entre el precio y el número de ocupantes en los edificios del complejo, que se mantiene invariable.

Todos estos datos se recogen en la Tabla 27.

Coste total (€)	Coste medio (€)	€/kWh	€/ocupación	
			Días laborables	Días no laborables
217.481	7.016	0,153	1,1	36,4

Tabla 27. Resumen costes en octubre.

Por último, la Figura 39 ilustra la relación entre el coste y el consumo durante el mes. Ambas curvas siguen la misma tendencia (el coste dependiente del consumo) y el coste diario en ningún momento se sitúa por debajo de los 5.000 €.

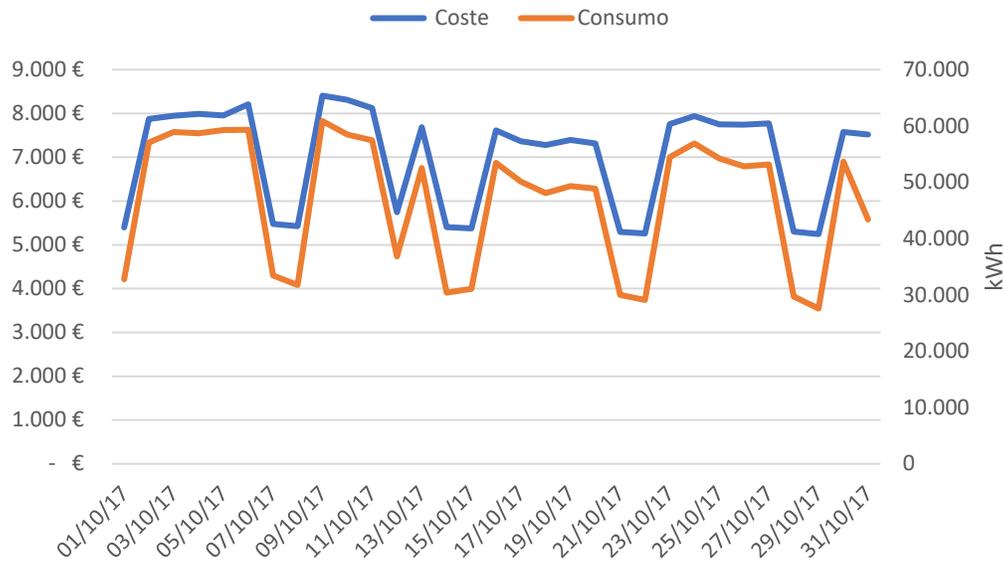


Figura 39. Relación entre coste y energía en octubre.

5.2. Análisis Completo

Los cuatro meses analizados presentan variaciones en el precio de la energía como se ha detallado. Los datos en términos totales y medios de este periodo cuatrimestral se exponen en la Tabla 28.

Coste total (€)	Coste medio (€)	€/kWh	€/ocupación	
			Días laborables	Días no laborables
747.390	6.076	0,121	1,25	35,7

Tabla 28. Resumen costes del cuatrimestre analizado.

El coste total (que no solo incluye el coste variable de energía) en función de la energía consumida presenta una tendencia ascendente en los meses estudiados, debido al mayor coste variable del propio término de generación de la energía. Esto se puede explicar en base a la previsión en el mercado de futuros de un mayor coste de la generación de electricidad en los meses de septiembre y octubre.

La figura 40 ilustra esta tendencia ascendente en la evolución del coste por unidad de energía. Se tienen mínimos de 0,07 € y máximos de 0,19 €.

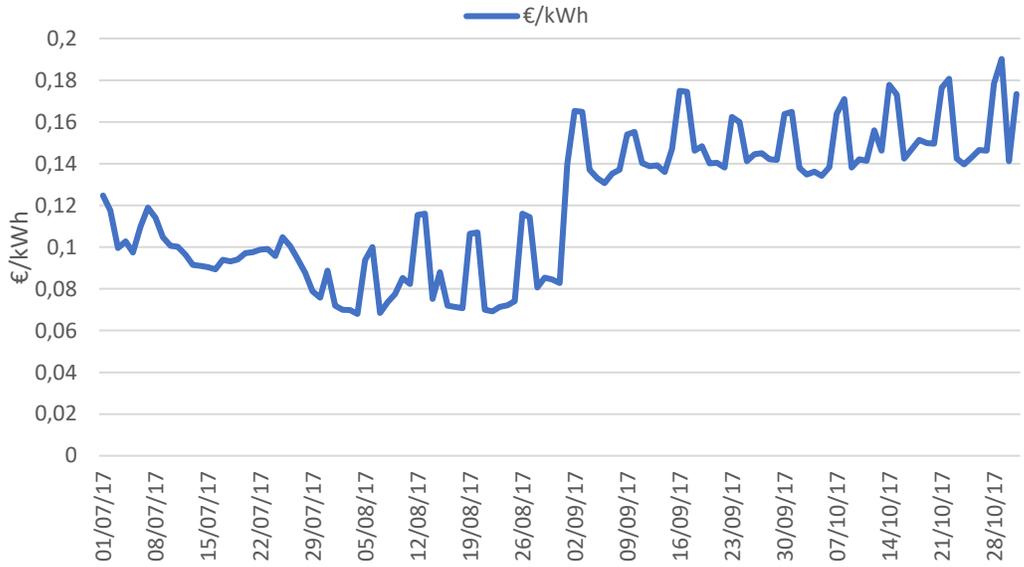


Figura 40. Evolución €/kWh.

En la Figura 41 se muestra la evolución del coste de la energía diaria en función del número de trabajadores presentes cada día. Es la relación que se mantiene más estable a lo largo de los meses, pudiendo distinguir claramente entre días laborables y no laborables.

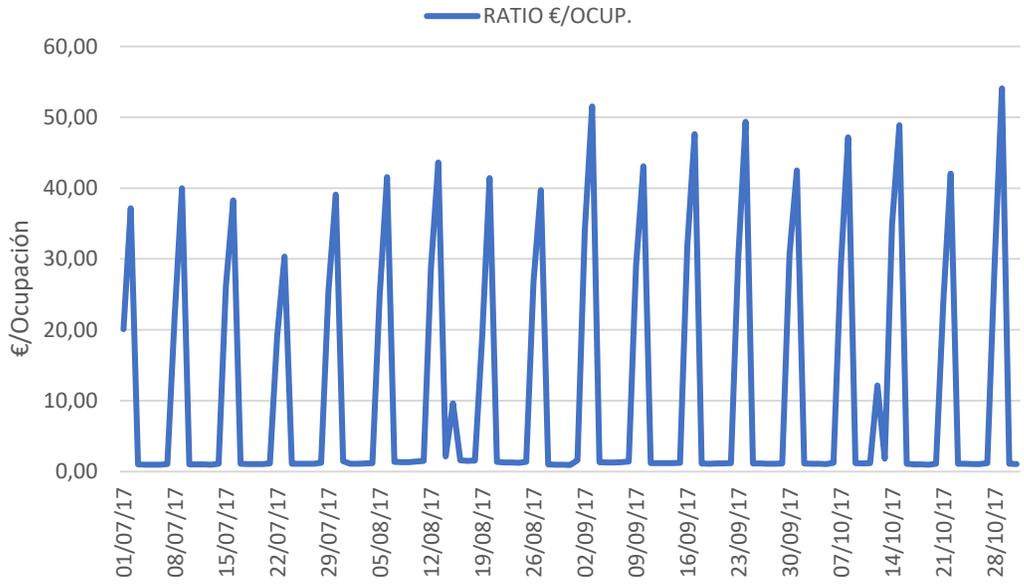


Figura 41. Evolución €/Ocupación.

5.3. Conclusiones

Se pretende estimar el coste total de la energía en el año. Para ello se usarán los datos de la Tabla 29, sacados del *Informe de precios 2017* del OMIE.

	Precio Medio Mensual (€/MWh)
Enero	74,97
Febrero	52,2
Marzo	44,08
Abril	44,01
Mayo	47,51
Junio	50,31
Julio	48,47
Agosto	47,38
Septiembre	48,73
Octubre	57,36
Noviembre	61,79
Diciembre	60,27

Tabla 29. Precio medio mensual de la electricidad en 2017.

Con la relación entre el precio medio mensual y los costes de los meses analizados y sabiendo el consumo de energía eléctrica mensual se obtiene que la estimación del coste anual de la energía eléctrica asciende a 2.132.738 €. Con relación al gas natural, el coste anual estimado teniendo en cuenta la cantidad consumida y el precio de mercado, es de 536.567 €. En total, el coste de la energía consumida en MOB cuesta 2.669.305 €.

Como conclusión, hay que indicar que sería interesante buscar otras opciones de contrato de energía eléctrica. Se ha analizado como pese a consumir menos energía en los meses de septiembre y octubre, y sin haber un gran cambio en el precio mensual del mercado, la factura en estos meses fue mucho mayor. Además, el compromiso de la compañía dueña del complejo de oficinas con la reducción de emisiones de CO₂ motiva un cambio hacia el consumo de electricidad procedente de energías limpias. Se propondrán medidas al respecto en la siguiente parte del documento.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

6. MEDIDAS PROPUESTAS

En esta parte se expondrán y estudiarán distintas medidas de ahorro de energía y de reducción de emisiones de CO₂ para conseguir una mayor eficiencia y sostenibilidad energética del complejo de oficinas.

6.1. Aumentar Consigna de Temperatura Interior en Verano

Una medida muy sencilla de aplicar y que supone de manera inmediata reducir el consumo de energía consiste en variar las condiciones de temperatura interior de los edificios del complejo. A lo largo del proyecto se ha explicado una y otra vez que el mayor consumo del complejo se debe a la refrigeración. Por este motivo se va a estudiar los efectos de aumentar la consigna de temperatura interior durante los meses de verano. Analizando los resultados se podrá decidir si merece la pena implantar esta medida.

Actualmente las condiciones interiores de verano en MOB son:

- $T_{int} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\phi_{int} = 50\%$

Estas condiciones favorecen el confort térmico de los trabajadores. No obstante, no son las únicas condiciones posibles con este resultado. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) establece dichas condiciones, expuestas en la Tabla 30.

Temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad relativa (%)
23-25	45-60

Tabla 30. Condiciones interiores de diseño de refrigeración.

Puesto que el propio reglamento establece que 25 $^{\circ}\text{C}$ asegura el confort de las personas, se comparará el efecto en la carga de refrigeración al aumentar la temperatura interior en el intervalo [24 $^{\circ}\text{C}$ -25 $^{\circ}\text{C}$], manteniendo la misma humedad relativa.

Para realizar los cálculos pertinentes se tomarán temperaturas exteriores comprendidas entre 25 $^{\circ}\text{C}$ y 32 $^{\circ}\text{C}$ ya que las temperaturas medias diarias de los meses de verano se encuentran en este intervalo.

Interesa conocer el porcentaje de ahorro de adoptar esta medida, por lo que no se analizarán todos los edificios del complejo. Los cálculos se realizarán para una planta (4.540 m²) de uno de los edificios de MOB y se estimará el ahorro total a través del porcentaje calculado. En concreto, la tercera planta de un edificio de la FASE I. El plano de esta planta del edificio de ilustra en la Figura 42.



Figura 42. Plano de la planta analizada.

La planta del edificio está dividida en cinco zonas distintas que se pueden distinguir por colores, aunque la zona verde se trata de patios de jardines por lo que no entra en el cálculo. Cabe destacar que las zonas no están orientadas en las mismas direcciones y sus características son distintas por lo que se tendrá que tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos. Se tienen todos los datos necesarios para ello, se irán exponiendo a medida que se van realizando los cálculos.

A continuación, se va a proceder a calcular todas las cargas térmicas en función de la variación de temperatura: $\Delta T = (T_{ext} - T_{int})$. Se tendrán en cuenta cargas térmicas debidas a:

- Transmisión.
- Radiación.
- Ocupación.
- Iluminación y equipos.
- Ventilación.

No se tendrán en cuenta las cargas térmicas por infiltraciones de aire al ser prácticamente despreciables en estos edificios.

- Carga térmica debida a la transmisión.

La transmisión a través del techo y la superficie de vidrio aporta calor sensible. Es dependiente de la superficie de transmisión (S_T), coeficiente de transmisión (K_T) y el salto térmico (ΔT). De esta manera, se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$Q_{ST} = S_T \cdot K_T \cdot \Delta T$$

Los valores de K para el vidrio y el techo son de $K_{TV}=2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $K_{TT}=0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. La superficie de vidrio y techo de cada zona se resume en la Tabla 31.

	Superficie Vidrio (m ²)	Superficie techo (m ²)
Zona Amarilla	292	720
Zona Gris	521	1.050
Zona Azul	476	1.080
Zona Roja	655	1.690

Tabla 31. Superficies de transmisión.

Aplicando la fórmula para cada zona y tipo de superficie y agregando estos resultados se obtiene:

$$Q_{ST} = 5,25 \cdot \Delta T \text{ (kW)}$$

- Carga térmica debida a la radiación.

La radiación solar a través del vidrio aporta también calor sensible. Depende de la superficie de radiación (S_R) y del coeficiente de radiación (K_R) en la siguiente relación

$$Q_{SR} = S_R \cdot K_R$$

A su vez, el coeficiente de radiación viene determinado por la orientación de la zona estudiada. Los coeficientes de radiación y la superficie de cada zona en función de la orientación se muestran en la Tabla 32.

		NE	SE	SO	NO
K_R (W/m ²)		18	53	16	16
S_R (m ²)	Zona Amarilla	160	-	132	-
	Zona Gris	176	115	230	-
	Zona Azul	269	44	162	-
	Zona Roja	124	80	124	17

Tabla 32. Coeficiente de radiación y superficies según orientación.

El resultado total de la carga por radiación es de:

$$Q_{SR} = 36,43 \text{ kW}$$

- Carga térmica debida a la ocupación.

La presencia de trabajadores aporta calor tanto sensible como latente. Este calor depende de la carga térmica unitaria (C_S y C_L) y del número de personas (N).

$$Q_{SO} = N \cdot C_S$$

$$Q_{LO} = N \cdot C_L$$

Las cargas térmicas unitarias para actividad moderada a 24 °C-25 °C son:

- $C_S = 75$ W/persona
- $C_L = 55$ W/persona

Por otro lado, la cantidad de personas estimada en cada zona se puede encontrar en la Tabla 33.

Zona Amarilla	72 personas
Zona Gris	105 personas
Zona Azul	108 personas
Zona Roja	169 personas

Tabla 33. Número de trabajadores por zona.

Así, el resultado de la carga térmica debida a la ocupación es de:

$$Q_{SO} = 34,05 \text{ kW}$$

$$Q_{LO} = 24,97 \text{ kW}$$

- Carga térmica debida a la iluminación y equipos de oficinas.

Tanto el aporte de calor por iluminación como por los equipos es sensible. La carga térmica unitaria de iluminación se estima en 15 W/m^2 mientras que la debida a los equipos informáticos se estima en 20 W/m^2 . Sabiendo que la superficie total de la planta es de 4.540 m^2

$$Q_{SIO} = 158,9 \text{ kW}$$

- Carga térmica debida a la ventilación.

El calor debido al aporte de aire exterior es tanto sensible como latente. Es dependiente del caudal de aire exterior (V_{ext}) y de la variación de temperatura (ΔT).

$$Q_{SV} = 0,35 \cdot V_{ext} \cdot \Delta T$$

$$Q_{LV} = 0,80 \cdot V_{ext} \cdot \Delta T$$

El RITE establece que el caudal de aire exterior para edificios de oficinas debe ser de $45 \text{ m}^3/\text{h}$. Teniendo en cuenta la información de la Tabla 33:

$$Q_{SV} = 7,15 \cdot \Delta T \text{ (kW)}$$

$$Q_{LV} = 16,34 \cdot \Delta T \text{ (kW)}$$

Ya se han calculado todas las cargas térmicas, por lo que se puede proceder a sumar todas ellas y obtener la potencia de refrigeración total. Esta es:

$$Q_{TOT} = 254,35 + 28,74 \cdot \Delta T$$

Se han dibujado las funciones (Figura 43) para varios escenarios de temperatura exterior y para el intervalo de temperatura interior [24°C - 25°C].

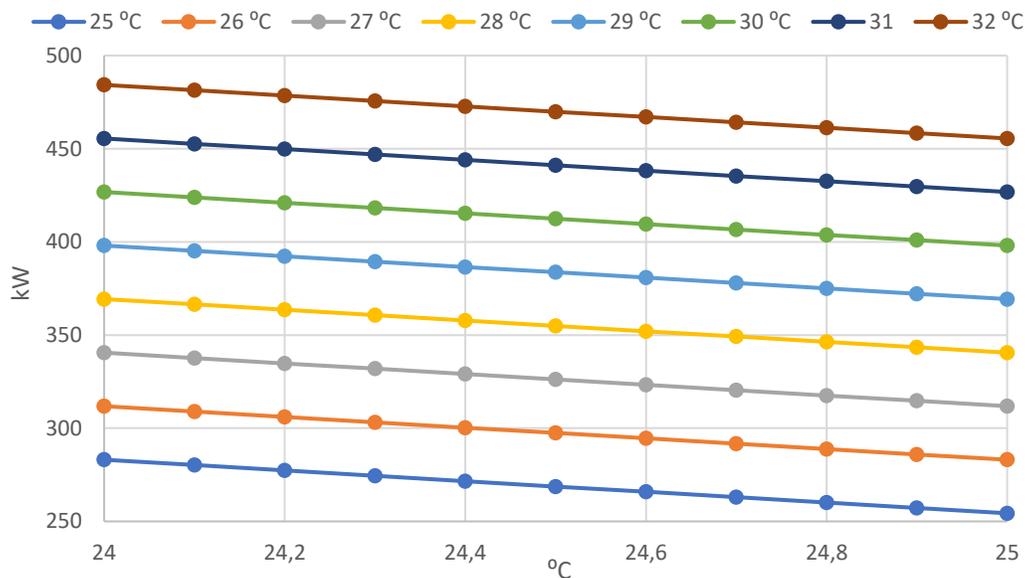


Figura 43. Relación entre carga térmica y temperatura interior.

La gráfica muestra con claridad que existe una reducción en la potencia de enfriamiento a medida que aumenta la temperatura interior. Este ahorro es menor cuanto mayor es la temperatura exterior, como puede apreciarse ligeramente en la menor pendiente de las curvas al aumentar la temperatura externa.

La temperatura media mensual de los meses de verano es de 26 °C, 27 °C y 27 °C respectivamente. El ahorro en la carga de refrigeración para cada supuesto se indica a continuación.

- 26 °C: cada centésima de grado que se aumenta la consiga de temperatura interior se reduce el consumo un 0,9%.
- 27 °C: cada centésima de grado que se aumenta la consiga de temperatura interior se reduce el consumo un 0,8%.

Conociendo los consumos mensuales y el coste de la electricidad en estos meses es posible estimar el ahorro en términos totales. La Tabla 34 los ahorros estimados para la temperatura interior de 25 °C. El ahorro es gradual a medida que se aumenta la temperatura, lo cual indica que es posible calcular las reducciones en el consumo de electricidad para cualquier temperatura del intervalo a partir del dato mostrado en la tabla.

	$T_{int} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ahorro energía consumida (kWh)	266.504
Ahorro coste de energía (€)	35.534

Tabla 34. Ahorros estimados al aumentar la temperatura interior.

6.2. Distribución de Trabajadores en Agosto

El análisis de la energía consumida en agosto arroja la conclusión de que la electricidad destinada a la climatización (refrigeración) podría reducirse notablemente. La ocupación en este mes es mucho menor que en el resto del año y pese a ello no se traduce en ahorros en el consumo en climatización. La explicación a este tema es la necesidad de seguir climatizando todas las zonas de los edificios al seguir existiendo ocupación en ellos.

A raíz del análisis se plantea a MOB la posibilidad de examinar cada verano el mapa de asistentes y no asistentes en agosto debido a las vacaciones, para concentrar a los trabajadores en zonas y permitir desconectar climatizadores y cerrar subcentrales de bombeo. De esta forma se evita climatizar espacios inutilizados y gestionar eficientemente este consumo.

Esta reubicación de los ocupantes se realizaría de forma moderada, evitando cambios radicales. Se estima que al haber la mitad de los trabajadores de media podrían ser concentrados de tal forma que se evitase climatizar un espacio equivalente a uno de los siete edificios (13.500 m² aproximadamente). El ahorro resultante sería del 12%, consiguiendo reducir en 12.902 € la factura del mes.

6.3. Nuevo Contrato de Electricidad

La principal conclusión extraída del análisis del coste de la energía eléctrica consumida es la oportunidad de negociar un nuevo contrato que asegure una mayor estabilidad y certidumbre del precio a pagar, así como reducir el impacto ambiental causado por las emisiones de CO₂ de energías no renovables. Este último es uno de los objetivos prioritarios de la compañía, por encima de conseguir la electricidad más barata.

Ante esta situación, se van a exponer dos opciones que cumplen con los requerimientos de la compañía propietaria del complejo. La primera opción propuesta, muy utilizada en Europa desde hace diez años, es la de garantías de origen.

La segunda propuesta se trata del tipo de contrato PPA (Power Purchase Agreement), un tipo de contrato totalmente desconocido en España hasta hace escasamente un año que se firmó el primero.

6.1.1. Garantías de origen

Según la *Comisión Nacional de los Mercados y Competencia* una garantía de origen es “una acreditación expedida a solicitud del interesado que asegura que una cantidad determinada de energía eléctrica, medida en MWh, se ha obtenido a partir de fuentes renovables y cogeneración de alta eficiencia, en un periodo determinado”. Es decir, se trata de un instrumento financiero para que el consumidor pueda certificar que su electricidad consumida tiene su origen en fuentes de generación renovables.

Estas acreditaciones se consiguen a través de las empresas comercializadoras, las cuales obtienen a través del CNMC. El esquema de funcionamiento se recoge en la Figura 44.



Figura 44. Gestión de las garantías de origen.

Las garantías de origen asegurarían la procedencia limpia de la energía eléctrica consumida, reduciendo de forma muy importante las emisiones de dióxido de carbono tal y como desea la compañía. Sin embargo, no soluciona el problema de inestabilidad e incertidumbre en los costes a largo plazo.

6.1.2. PPA

Un Power Purchase Agreement es un tipo de contrato bilateral de compra y venta de energía. Se trata por tanto de un contrato negociado directamente entre el generador de electricidad y el consumidor, sin comercializadoras de por medio. Las características principales de este tipo de contrato son:

- Contrato a largo plazo (mínimo cinco años).
- Precio fijo.

Existen dos tipos de PPA, el físico y el financiero. En el PPA físico se negocia el plazo (horizonte determinado), el volumen de energía, el precio fijo de la electricidad y la central de producción de energía eléctrica que la suministrará. Es un tipo de contrato que conlleva mayores riesgos.

En cuanto al PPA financiero, se trata de un contrato por diferencias independiente del volumen de energía consumida. Es decir, tanto consumidor como generador negocian un precio a largo plazo, pero se intercambian las diferencias con respecto al precio del pool. De esta forma se atenúa la incertidumbre en la previsión de los costes. Este tipo de contrato es buscado por los productores como forma de financiación de nuevos proyectos renovables a la vez que el consumidor consigue un precio más competitivo que el del mercado actual. Además, se puede garantizar que la energía comprada es 100% renovable, con la implicación en las emisiones que conlleva.

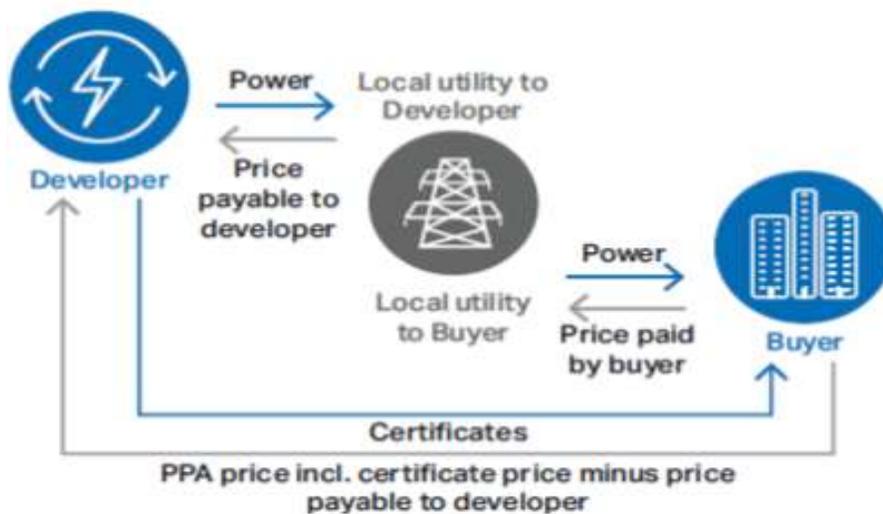


Figura 45. Esquema PPA financiero.

En España aún no está extendido este tipo de contrato (no se han firmado más de diez). El primer PPA firmado fue entre la eléctrica EDP y Calidad Pascual, a cinco años. Más tarde se han unido otras empresas como Cortefiel, firmando un PPA con cuatro productores de renovables de 25 GWh anuales. Se estima que el ahorro en el coste total anual en estos consumidores es del 10%.

El consumo anual de MOB es cercano a los 17 GWh (parecido al de Cortefiel), por lo que la posibilidad de firmar un contrato de este tipo parece viable y prometedora. Se conseguiría eliminar las emisiones de CO₂ al mismo tiempo que se lograría una mayor estabilidad en el coste.

Con todo esto, se recomienda buscar productores de energía renovable con intención de financiar nuevos proyectos, principalmente eólica, aunque es interesante la opción de contar con varios suministradores, para negociar un PPA que beneficie a ambas partes. Un plazo de duración de cinco años parece sensato para ser el primer contrato de este tipo que firmaría la compañía. También es buena opción alargar el plazo a diez años, incluyendo cláusulas de revisión pasada la mitad del tiempo que minimicen todavía más los riesgos.

6.4. Cogeneración

Las calderas de los dos edificios de la FASE I del complejo son poco eficientes en el consumo de gas natural para la producción de calefacción y ACS. Ante esta situación, se va a plantear una propuesta de mejora.

Una posibilidad sería sustituir estos equipos por otros más actuales y eficientes, pero aún se encuentran en vida útil por lo que se prefiere analizar un plan distinto. Este plan consiste en dar apoyo a estas calderas cubriendo parte de la demanda térmica de estos edificios con tecnología de cogeneración.

La cogeneración consiste en la producción conjunta de energía térmica útil y electricidad. Se puede afirmar que se trata de una medida en pos de la eficiencia en la climatización del complejo ya que, gracias a la cogeneración, se consigue reducir el consumo de energía primaria, al aprovechar el calor útil. Además, si se lleva a cabo en escenarios que favorezcan su instalación, conllevan beneficios económicos en el futuro al producir simultáneamente electricidad y calor.

Se va a estudiar la opción de implantar un sistema de cogeneración para estos dos edificios mencionados. Es importante esclarecer que se trata de un análisis previo para indicar si tendría sentido llevar a cabo un proyecto de cogeneración, el cual

incluyese un estudio exhaustivo referente al beneficio o perjuicio de instalar un sistema de cogeneración.

Existen numerosas tecnologías de cogeneración que podrían emplearse en esta propuesta. Principalmente son:

- Motor alternativo de combustión interna.
- Turbina de gas.
- Turbina de vapor
- Ciclo combinado.

Se ha considerado que la tecnología que más se ajusta a la aplicación estudiada es la de motor alternativo de combustión interna que emplea gas natural como combustible. Se ha elegido el motor de gas por delante de las otras opciones por varios criterios entre los que destacan su mayor eficiencia eléctrica y rendimiento total, sin necesidad de producir energía térmica de alta temperatura. Asimismo, esta tecnología permite una alta capacidad de modulación lo cual facilita su instalación en cuanto a aspectos de logística.

En la Figura 46 se muestra el esquema de funcionamiento de la tecnología de cogeneración escogida.

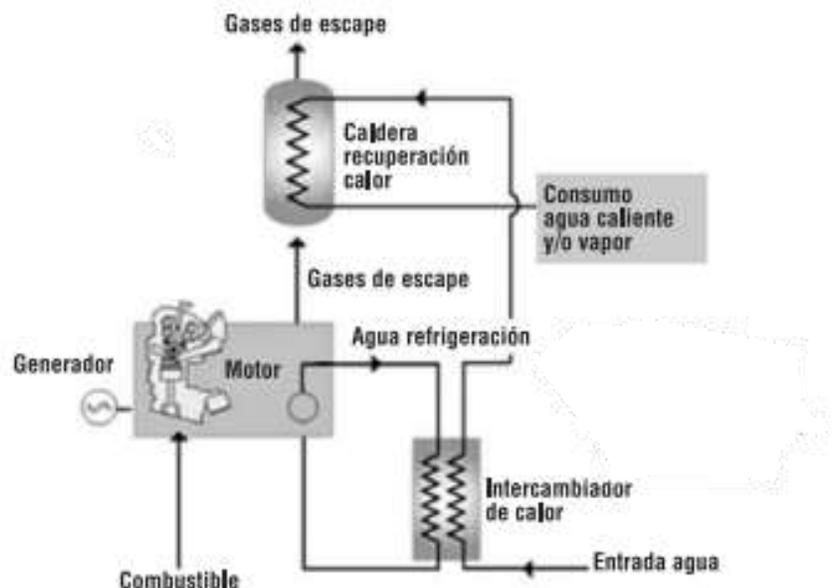


Figura 46. Esquema de funcionamiento motor de gas en cogeneración.

El consumo anual de gas natural para calefacción en estos dos edificios es de 4.398.086 kWh. Teniendo en cuenta el rendimiento de las calderas la demanda térmica anual es de 3.364.535 kWh. Durante el año sería necesario que el motor de cogeneración funcionase durante el periodo de calefacción, que se prolonga 4.368 horas. Se desea cubrir aproximadamente la mitad de la demanda de calefacción con el motor de cogeneración. De esta manera, se selecciona para el análisis un motor de gas con las características nominales de la Tabla 35.

Potencia eléctrica (kW)	400
Potencia térmica (kW)	428
Rendimiento eléctrico (%)	42,3
Rendimiento térmico (%)	45,2
Rendimiento total (%)	87,5
Consumo de gas natural (kW)	946

Tabla 35. Características del motor de gas.

Con esta información se procede a realizar los cálculos relacionados con la energía anual producida por el motor de cogeneración y el gas natural consumido.

$$E_E = 400 \text{ kW} \cdot 4368 \text{ h} = 1.747.200 \text{ kWh}$$

$$E_T = 428 \text{ kW} \cdot 4368 \text{ h} = 1.869.504 \text{ kWh}$$

$$E_{GN} = 946 \text{ kW} \cdot 4368 \text{ h} = 4.132.128 \text{ kWh}$$

Con el motor de cogeneración el consumo de gas natural aumenta un 38% (respecto a los dos edificios estudiados) mientras que el consumo de energía eléctrica disminuye, al aprovechar la electricidad generada, un 26%. En términos totales, la energía consumida disminuye únicamente un 0,5%, pero se reducen las emisiones en 296.256 kg.

Una vez es conocido el total de energía producida y la cantidad de gas natural consumida, se van a acometer los cálculos pertinentes para valorar la rentabilidad de esta medida. Antes de nada, hay que indicar que los costes asociados a la inversión alcanzan los 600.000 € repartidos entre la adquisición del grupo de cogeneración y la instalación y cableados. Siendo conservadores, se asumirá un periodo de vida útil del grupo de cogeneración de 10 años.

Como precio medio de la electricidad facturada se usará la media del año analizado en este documento, 0,12 €/kWh. De igual forma, se considerará el precio medio de gas natural facturado en 0,05 €/kWh. En cuanto al precio del gas natural para la

cogeneración se tomará el precio medio del periodo de funcionamiento del motor, 0,03 €/kWh. Este valor se ha obtenido del Informe *Anual del Mercado Organizado de Gas 2017* publicado por MIBGAS. Los ahorros económicos anuales derivados de producir energía y los costes del gas natural y de mantenimiento son:

$$Ahorro_E = 1.747.200 \text{ kWh} \cdot 0,12 \text{ €/kWh} = 209.664 \text{ €/año}$$

$$Ahorro_T = 1.869.504 \text{ kWh} \cdot 0,05 \text{ €/kWh} = 93.475 \text{ €/año}$$

$$Coste_{GN} = 4.132.128 \text{ kWh} \cdot 0,03 \text{ €/kWh} = 123.964 \text{ €/año}$$

$$Coste_{OM} = 40.000 \text{ €/año}$$

Con esta información es posible saber el ahorro económico anual que asciende a:

$$Ahorro \text{ Total} = 139.175 \text{ €/año}$$

Con todos los cálculos hechos, se puede saber si esta medida resulta rentable. Se puede visualizar el flujo de cajas de la inversión junto con los parámetros principales de rentabilidad en la Figura 47.

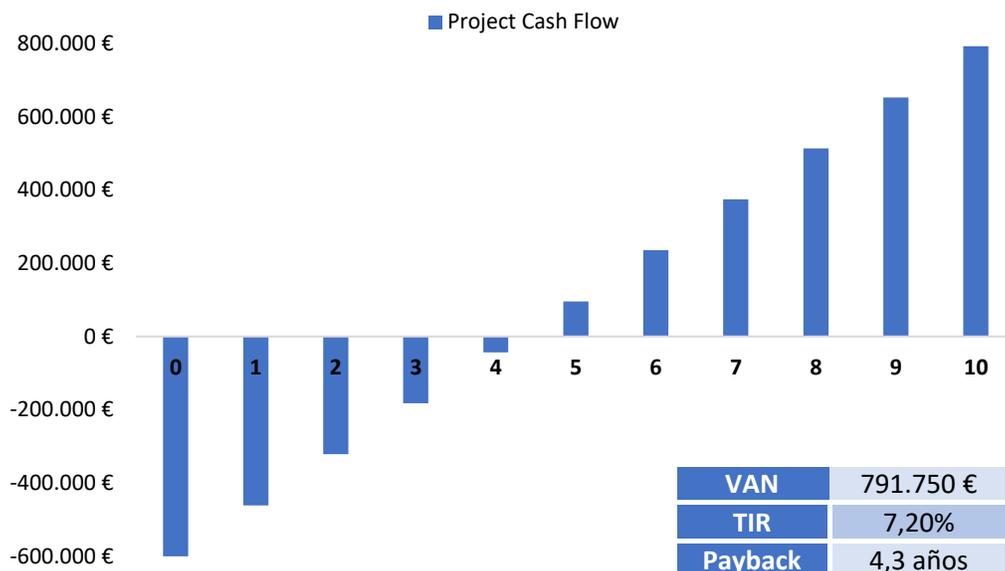


Figura 47. Flujo de cajas de la inversión en cogeneración.

El valor actual neto revela que sería totalmente rentable llevar a cabo esta medida. El periodo de retorno de la inversión es de 4,3 años y la tasa interna de retorno es del 7.2%.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

7. CONCLUSIONES

Se ha analizado exhaustivamente el uso y consumo de energía en el complejo de oficinas MOB y se ha llegado a la conclusión de que son edificios de gran eficiencia, demostrando su certificación LEED Oro. En cuanto a la climatización, elemento principal del análisis, es clave su aporte a la eficiencia global gracias a sistemas como las vigas frías, unidades frigoríficas con grandes rendimientos y recuperadores de calor entálpico.

El ahorro en el consumo de energía respecto a edificios de las mismas características, pero equipados con tecnología convencional se estima en un 40%, así como la reducción en emisiones de CO₂.

Pese a todo, existen algunos aspectos en los que es posible lograr un consumo más eficiente y reducir las emisiones de CO₂. Se han propuesto varias medidas y se han examinado sus condiciones tanto técnicas como económicas. Estas medidas se resumen en la Tabla 36.

	Ahorro energía		Ahorro económico		Reducción CO ₂	
	kWh/año	%	€/año	%	kg/año	%
T_{int} = 25° C en verano	266.504	2,1	35.534	1,7	101.272	1,2
Ocupación agosto	130.737	0,8	12.902	0,6	49.680	0,6
PPA	-	-	-	-	6.392.994	72,5
Cogeneración	-	-	79.175	3,7	296.256	3,4

Tabla 36. Resumen de medidas de ahorro propuestas.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

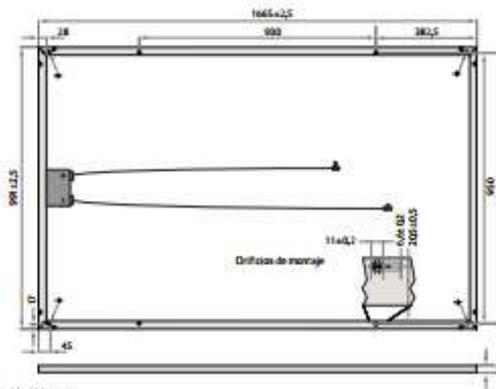
ICADE

CIHS

8. ANEXOS

8.1. Características Placas Solares

REC PEAK ENERGY SERIES



PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ STC	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE
Potencia nominal • P _{nom} (Wp)	235	240	245	250	255	260
Clasificación de la clase de potencia (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Tensión nominal • V _{nom} (V)	29,5	29,7	30,1	30,2	30,5	30,7
Corriente nominal • I _{nom} (A)	8,06	8,17	8,23	8,30	8,42	8,50
Tensión a circuito abierto • V _{oc} (V)	36,6	36,8	37,1	37,4	37,6	37,8
Corriente de corto circuito • I _{sc} (A)	8,66	8,75	8,80	8,86	8,95	9,01
Eficiencia del módulo (%)	14,2	14,5	14,8	15,1	15,5	15,8

Los datos analizados demuestran que el 99,7% de los módulos tienen una tolerancia de corriente y tensión del: 3% respecto al valor nominal. Valores en condiciones estándar de medida STC (masa de aire AM1.5, irradiancia 1000 W/m², temperatura de la célula 25°C). En bajas irradiancias de 200 W/m² y condiciones STC (1.5 AM y temperatura de célula de 25°C) es posible obtener, al menos un 97% de la eficiencia.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ NOCT	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE
Potencia nominal • P _{nom} (Wp)	179	183	187	189	193	197
Tensión nominal • V _{nom} (V)	27,5	27,7	28,1	28,3	28,5	29,0
Corriente nominal • I _{nom} (A)	6,51	6,58	6,64	6,68	6,77	6,81
Tensión a circuito abierto • V _{oc} (V)	34,2	34,4	34,7	35,0	35,3	35,7
Corriente de corto circuito • I _{sc} (A)	6,96	7,03	7,08	7,12	7,21	7,24

Temperatura nominal de la célula (NOCT) 800 W/m², AM1.5, velocidad del viento 1m/s, temperatura ambiente 20°C.

CERTIFICADOS



PV CYCLE

Miembro del PV Cycle

GARANTÍA

10 años de garantía de producto
25 años de garantía de la potencia nominal lineal (máxima degradación de rendimiento del 0,7% p.a.)

15,8% EFICIENCIA

10 AÑOS DE GARANTÍA DE PRODUCTO

25 AÑOS DE GARANTÍA DE LA POTENCIA NOMINAL LINEAL

PARÁMETROS TÉRMICOS

Temp. de operación nominal de la célula (NOCT)	45,7°C (p=2°C)
Coefficiente de temperatura para P _{nom}	-0,40%/°C
Coefficiente de temperatura V _{oc}	-0,27%/°C
Coefficiente de temperatura I _{sc}	0,024%/°C

DATOS GENERALES

Tipo de célula:	50 células policristalinas REC PE
	3 cadenas de 20 células con diodos de derivación
Cristal:	Vidrio solar de 3,2 mm con tratamiento antirreflejante
Lámina posterior:	Doble capa de políster de alta resistencia
Marco:	Aluminio anodizado
Caja de conexiones:	IP 67
	Cable solar 4mm ² , 0,90 m • 1,20 m
Conectores:	MC4 (4 mm ²)
	Conexión MC4 (4 mm ²)
	Radix de hierro por torsión (4 mm ²)

LÍMITES OPERATIVOS

Margen de temperatura del módulo:	+40 ... +80°C
Voltaje máximo del sistema:	1000V
Máxima carga de nieve:	550 kg/m ² (5400 Pa)
Máxima carga de viento:	244 kg/m ² (2400 Pa)
Capacidad máxima del fusible:	25A
Máxima Corriente Inversa:	25A

DATOS MECÁNICOS

Dimensiones:	1665 x 991 x 38 mm
Área:	1,65 m ²
Peso:	18 kg

¡Atención! Las especificaciones están sujetas a cambios sin notificación previa.

REC es una empresa líder global que suministra soluciones de electricidad solar. Con casi dos décadas de experiencia, ofrecemos productos renovables de alto rendimiento, ser vicios y oportunidades de inversión para empresas electrónicas y solares. Junto a nuestros socios creamos valor ofreciendo soluciones que mejor se ajustan a las crecientes necesidades globales de electricidad. Nuestros 2.300 empleados en todo el mundo generaron ingresos por más de 7 mil millones de coronas noruegas en 2012, aproximadamente 1000 millones de Euros o 1.300 mil millones de dólares.



www.recgroup.com



8.2. Características Vigas Frías

Dimensionamiento

El catálogo, disponible en el sitio web de Swegon (www.swegon.com), incluye tablas detalladas.

El programa informático ProSelect, también disponible en el sitio web de Swegon, permite obtener valores exactos.

PARASOL

Módulo	Variante de caudal	Caudal aire primario l/s	Nivel de ruido dB(A)	Presión en tobera Pa	Potencia frigorífica, aire primario W at ΔT_i				Potencia frigorífica, agua W at ΔT_{ra}				Potencia calorífica, agua W at ΔT_{ra}			
					6	8	10	12	6	8	10	12	5	15	25	35
600x600	Medio	20	20	52	144	192	240	288	285	377	468	559	145	426	698	964
	Medio	30	33	117	216	288	360	432	399	525	649	772	187	553	909	1262
600x1200	Bajo	16	<20	54	115	154	192	230	400	533	666	798	228	683	1135	1586
	Bajo	27	26	153	194	259	324	389	568	759	951	1142	326	976	1621	2265
600x1200	Medio	22	<20	50	158	211	264	317	416	555	695	834	250	745	1236	1725
	Medio	38	30	148	274	365	456	547	616	818	1019	1220	366	1092	1811	2527
600x1200	Alto	36	26	51	259	346	432	518	521	680	837	990	230	858	1485	2108
	Alto	55	36	119	396	528	660	792	674	875	1071	1262	295	1098	1900	2698

PARASOL EX

Módulo	Variante de caudal	Caudal aire primario l/s	Nivel de ruido dB(A)	Presión en tobera Pa	Potencia frigorífica, aire primario W at ΔT_i				Potencia frigorífica, agua W at ΔT_{ra}				Potencia calorífica, agua W at ΔT_{ra}			
					6	8	10	12	6	8	10	12	5	15	25	35
690x690	Medio	20	20	52	144	192	240	288	257	341	423	506	138	406	665	918
	Medio	30	33	117	216	288	360	432	361	474	587	698	178	527	866	1201
690x1290	Medio	22	<20	50	158	211	264	317	359	479	600	720	227	677	1124	1568
	Medio	38	30	148	274	365	456	547	532	707	879	1053	322	992	1646	2297
690x1290	Alto	36	26	51	259	346	432	518	450	588	722	854	210	780	1350	1917
	Alto	55	36	119	396	528	660	792	582	756	924	1090	268	998	1728	2453

Condiciones

Ajuste de las toberas: caudal alto en todos los lados.

Nivel de ruido: especificado sin compuerta o con la compuerta totalmente abierta. Atenuación ambiente 4 dB.

Potencia frigorífica: la potencia frigorífica total es la suma de la potencia frigorífica del aire primario y la potencia frigorífica del agua.

ΔT_i = Diferencia de temperatura entre el aire primario y el aire ambiente, especificada en grados K (kelvin).

ΔT_{rk} = Diferencia de temperatura entre la temperatura media del agua de refrigeración y el aire ambiente, especificada en grados K (kelvin).

ΔT_{ra} = Diferencia de temperatura entre la temperatura media del agua de calefacción y el aire ambiente, especificada en grados K (kelvin).

8.4. Consumo de Energía Eléctrica.

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/07/17	16.340,36	1.691,52	5.305,51	3.445,33	3.482,59	30.265,31	188	311	18,78
02/07/17	18.716,19	1.428,28	5.209,21	3.393,93	3.470,18	32.217,79	102	300	22,87
03/07/17	38.906,42	9.011,04	10.183,67	4.744,35	3.584,87	66.430,35	6.457	2.280	27,43
04/07/17	40.024,06	6.070,07	10.281,89	4.610,44	3.602,73	64.589,19	6.699	2.339	28,95
05/07/17	40.465,02	7.882,60	10.329,43	4.642,34	3.668,86	66.988,25	6.682	2.209	29,25
06/07/17	31.199,64	8.099,19	10.232,13	4.561,37	3.626,85	57.719,18	6.617	2.246	20,29
07/07/17	26.607,43	7.194,80	9.361,62	4.625,03	3.556,19	51.345,07	5.782	1.702	19,73
08/07/17	19.141,94	1.653,60	4.989,29	3.424,35	3.460,73	32.669,91	170	313	20,73
09/07/17	22.319,78	1.449,15	4.915,85	3.380,10	3.463,65	35.528,53	93	300	25,56
10/07/17	38.152,16	7.882,68	10.048,38	4.547,88	3.580,52	64.211,62	6.331	2.185	26,97
11/07/17	40.506,77	7.506,54	10.264,60	4.475,24	3.577,45	66.330,60	6.668	2.241	27,57
12/07/17	42.827,63	8.182,66	10.286,35	4.713,99	3.637,53	69.648,16	6.618	2.231	30,31
13/07/17	47.248,76	8.150,75	10.392,38	4.722,04	3.610,22	74.124,15	6.856	2.267	32,03
14/07/17	47.534,02	7.611,12	9.690,26	4.626,19	3.576,47	73.038,06	6.049	1.706	32,77
15/07/17	27.410,17	1.523,59	5.583,73	3.368,56	3.625,71	41.511,76	143	250	30,94
16/07/17	28.711,99	1.405,53	5.070,08	3.339,07	3.478,74	42.005,41	98	250	31,29
17/07/17	46.302,90	7.569,07	10.108,93	4.331,14	3.576,07	71.888,11	6.025	2.070	30,23
18/07/17	45.217,13	7.849,22	10.410,57	4.542,65	3.600,32	71.619,89	6.379	2.154	30,86
19/07/17	44.572,15	7.808,79	10.429,59	4.450,26	3.607,77	70.868,56	6.427	2.175	28,29
20/07/17	41.670,99	7.693,50	10.477,34	4.490,94	3.617,28	67.950,05	6.332	2.147	27,28
21/07/17	41.435,57	7.533,67	9.532,64	4.509,40	3.578,51	66.589,79	5.583	1.624	27,04
22/07/17	24.293,24	1.631,77	4.976,23	3.320,02	3.474,87	37.696,13	195	263	27,23
23/07/17	24.546,99	1.542,38	4.800,90	3.240,88	3.473,71	37.604,86	123	221	28,29
24/07/17	41.713,88	7.695,78	9.975,81	4.289,77	3.574,94	67.250,18	5.777	1.992	27,46
25/07/17	36.152,97	8.005,42	10.315,11	4.498,42	3.616,70	62.588,62	5.959	2.006	24,41
26/07/17	37.743,87	8.098,62	10.336,72	4.537,37	3.630,67	64.347,25	5.981	2.010	26,94
27/07/17	43.367,12	7.923,82	10.367,72	4.447,57	3.642,42	69.748,65	5.863	1.979	30,41
28/07/17	46.319,39	9.522,58	9.437,71	4.479,44	3.579,70	73.338,82	5.254	1.472	31,32
29/07/17	24.587,67	11.156,02	4.911,77	3.355,12	3.472,55	47.483,13	147	209	30,74
30/07/17	25.273,41	11.182,54	4.875,05	3.229,59	3.463,04	48.023,63	93	200	30,55
31/07/17	46.964,41	10.963,86	9.315,41	4.301,75	3.537,40	75.082,83	4.497	1.471	28,90



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/08/17	43.856,68	7.272,14	9.634,81	4.294,98	3.540,38	68.598,99	4.491	1.452	27,95
02/08/17	43.686,52	7.265,35	9.301,71	4.445,84	3.703,07	68.402,49	4.387	1.398	28,73
03/08/17	43.186,57	7.725,86	9.219,11	4.867,78	3.766,65	68.765,97	4.263	1.365	30,06
04/08/17	44.102,43	6.881,93	8.614,31	4.567,95	3.771,33	67.937,95	3.827	1.107	31,94
05/08/17	27.631,66	1.625,16	4.994,07	3.402,52	3.661,09	41.314,50	155	210	33
06/08/17	25.469,71	1.443,58	4.729,26	3.309,03	3.696,66	38.648,24	93	200	30
07/08/17	46.615,66	6.912,18	8.686,01	4.314,09	3.747,34	70.275,28	3.457	1.127	29,35
08/08/17	40.860,41	6.808,02	8.749,90	4.281,01	3.737,85	64.437,19	3.571	1.131	25,24
09/08/17	38.030,77	6.901,40	8.708,17	3.295,39	3.739,42	60.675,15	3.509	1.099	22,82
10/08/17	33.791,52	6.893,13	8.625,57	3.881,00	3.722,51	56.913,73	3.437	1.072	20,12
11/08/17	34.768,06	6.589,78	8.058,28	4.062,04	3.720,91	57.199,07	3.103	889	22,42
12/08/17	22.295,43	1.378,47	4.446,11	2.491,62	3.664,33	34.275,96	137	168	25
13/08/17	21.710,21	1.223,47	4.432,76	2.424,76	3.655,26	33.446,46	89	150	28
14/08/17	37.640,33	6.026,99	7.785,31	3.825,85	3.780,12	59.058,60	2.057	681	28,87
15/08/17	30.307,35	3.341,73	5.694,24	3.355,30	3.687,91	46.386,53	423	261	29
16/08/17	42.116,79	6.715,18	8.222,92	4.128,12	3.733,55	64.916,56	2.938	929	29,27
17/08/17	40.784,10	6.629,21	8.418,26	4.246,76	3.728,13	63.806,46	3.045	944	30,13
18/08/17	41.342,35	6.261,04	8.171,26	4.231,50	3.754,92	63.761,07	2.866	833	30,56
19/08/17	23.692,76	1.207,70	4.735,18	2.740,30	3.689,07	36.065,01	200	168	29
20/08/17	23.773,24	1.164,18	4.650,04	2.711,10	3.688,24	35.986,80	93	150	29
21/08/17	44.207,01	6.425,41	8.483,18	3.879,95	3.753,81	66.749,36	3.403	1.051	29,76
22/08/17	43.153,59	6.820,21	8.765,86	3.989,71	3.754,05	66.483,42	3.573	1.091	30,62
23/08/17	41.412,18	6.919,04	8.790,89	4.160,47	3.748,05	65.030,63	3.659	1.123	30,69
24/08/17	41.717,66	6.831,80	8.820,46	3.947,80	3.738,58	65.056,30	3.735	1.136	29,04
25/08/17	42.620,79	6.524,95	8.356,12	3.931,93	3.730,27	65.164,06	3.523	150	28,40
26/08/17	21.627,67	1.361,00	4.672,02	2.429,14	3.676,73	33.766,56	146	168	27
27/08/17	21.765,43	1.252,87	4.646,74	2.369,71	3.667,03	33.701,78	97	157	25
28/08/17	33.824,76	7.087,35	9.257,52	3.838,79	3.762,03	57.770,45	4.524	1.416	20,49
29/08/17	30.633,67	7.150,43	9.479,27	3.821,18	3.760,84	54.845,39	4.883	1.511	20,81
30/08/17	30.826,98	7.090,79	9.892,15	3.758,76	3.776,95	55.345,63	4.920	1.542	22,31
31/08/17	32.025,34	7.349,80	9.736,69	3.946,06	3.744,69	56.802,58	5.068	1.558	23,27

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/09/17	31.285,53	6.801,81	9.149,98	3.693,89	3.739,10	54.670,31	4.835	1.324	22,51
02/09/17	19.289,87	1.620,63	5.116,84	2.458,93	3.676,23	32.162,50	156	152	21,07
03/09/17	19.662,30	1.526,82	4.941,63	2.431,12	3.637,43	32.199,30	103	138	24,51
04/09/17	33.398,44	7.263,61	9.794,81	3.761,04	3.731,88	57.949,78	6.003	1.979	25,01
05/09/17	35.169,21	7.416,04	10.258,62	3.812,62	3.751,09	60.407,58	6.301	2.061	25,98
06/09/17	37.187,19	7.344,27	10.349,59	3.761,68	3.779,03	62.421,76	6.284	2.065	27,09
07/09/17	35.890,68	7.387,05	10.323,58	3.747,66	3.763,18	61.112,15	6.318	2.083	24,73
08/09/17	36.877,85	6.985,76	9.476,69	3.758,08	3.733,15	60.831,53	5.817	1.606	24,40
09/09/17	21.966,82	1.583,32	5.260,49	2.475,70	3.647,46	34.933,79	185	168	21,24
10/09/17	21.135,43	1.708,24	5.277,57	2.550,44	3.728,48	34.400,16	124	160	19,12
11/09/17	31.894,57	7.362,55	10.247,72	3.692,21	3.775,75	56.972,80	6.648	2.199	23,24
12/09/17	32.235,09	7.499,18	10.525,18	3.764,63	3.837,09	57.861,17	6.820	2.238	22,84
13/09/17	33.563,16	7.585,72	10.715,80	3.835,25	3.813,27	59.513,20	7.075	2.285	24,24
14/09/17	33.943,60	7.590,81	11.429,64	3.627,26	3.829,52	60.420,83	6.830	2.208	24,09
15/09/17	28.961,22	7.048,70	9.805,30	3.604,24	3.768,52	53.187,98	6.287	1.718	18,15
16/09/17	17.642,42	1.569,96	5.630,24	2.279,70	3.681,93	30.804,25	169	188	16,17
17/09/17	17.948,61	1.490,17	5.270,44	2.462,23	3.683,22	30.854,67	113	169	18,09
18/09/17	29.170,29	7.464,97	10.396,74	3.644,78	3.788,97	54.465,75	6.854	2.277	19,17
19/09/17	28.384,95	7.041,97	10.687,77	3.511,21	3.804,00	53.429,90	7.228	2.400	20,32
20/09/17	34.124,16	7.601,45	11.028,76	3.465,97	3.824,01	60.044,35	7.277	2.449	21,40
21/09/17	31.375,58	7.602,05	11.449,69	3.426,02	3.803,98	57.657,32	7.102	2.371	22,14
22/09/17	29.108,81	7.083,11	12.222,77	3.435,48	3.792,83	55.643,00	6.515	1.833	22,32
23/09/17	19.412,03	1.791,42	5.238,82	2.543,21	3.715,95	32.701,43	176	261	21,99
24/09/17	20.439,23	1.605,96	5.472,44	2.419,87	3.690,33	33.627,83	109	250	23,04
25/09/17	32.615,72	7.546,33	10.429,09	3.550,89	3.813,70	57.955,73	7.197	2.412	22,42
26/09/17	29.424,93	7.562,99	10.590,97	3.398,87	3.851,62	54.829,38	7.028	2.322	20,48
27/09/17	28.444,18	7.575,82	10.488,57	3.415,42	3.849,69	53.773,68	7.117	2.358	21,05
28/09/17	29.528,94	7.509,66	10.497,01	3.457,80	3.865,89	54.859,30	6.952	2.317	21,79
29/09/17	30.153,42	7.153,54	9.769,34	3.425,55	3.850,62	54.352,47	6.654	1.832	22,82
30/09/17	19.379,22	1.659,71	5.490,53	1.984,66	3.771,38	32.285,50	172	250	23,00

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/10/17	19.967,37	1.538,00	5.402,26	2.064,45	3.769,99	32.742,07	127	250	22
02/10/17	31.526,88	7.497,30	10.408,71	3.730,27	3.881,38	57.044,54	6.938		23,33
03/10/17	33.342,77	7.562,14	10.450,73	3.717,82	3.882,06	58.955,52	7.090		24,08
04/10/17	32.782,46	7.660,60	10.571,49	3.776,70	3.889,37	58.680,62	7.165		23,72
05/10/17	33.190,35	7.692,68	10.792,35	3.730,68	3.862,57	59.268,63	7.378	2.395	23,62
06/10/17	34.844,53	7.275,44	9.701,05	3.700,01	3.836,45	59.357,48	6.613	1.808	23,07
07/10/17	20.629,30	1.710,36	5.163,76	2.195,33	3.724,41	33.423,16	189	191	20
08/10/17	19.470,54	1.431,91	5.020,13	2.113,05	3.705,70	31.741,33	115	164	20
09/10/17	35.635,97	7.363,24	10.359,48	3.659,76	3.856,94	60.875,39	7.111	2.388	21,12
10/10/17	32.829,03	7.495,49	10.542,28	3.773,71	3.853,54	58.494,05	7.110	2.344	20,41
11/10/17	32.023,19	7.524,81	10.332,49	3.758,25	3.853,50	57.492,24	6.924	2.269	20,14
12/10/17	20.321,28	3.285,48	6.466,05	3.032,02	3.753,31	36.858,14	473	257	21
13/10/17	29.535,52	6.678,13	8.858,17	3.719,89	3.768,72	52.560,43	4.234	1.198	21,53
14/10/17	17.769,35	1.528,08	5.015,29	2.356,76	3.711,22	30.380,70	155	161	21
15/10/17	18.742,77	1.456,56	4.831,28	3.329,87	3.717,06	31.077,54	110	150	22
16/10/17	28.047,69	7.491,59	10.260,40	3.795,35	3.843,28	53.438,31	7.027	2.342	20,63
17/10/17	24.370,07	7.551,25	10.574,37	3.776,86	3.825,69	50.098,24	7.241	2.368	17,64
18/10/17	21.981,61	7.698,95	10.704,85	3.834,62	3.851,53	48.071,56	7.197	2.370	13,91
19/10/17	23.214,90	7.581,26	10.715,12	3.963,13	3.829,58	49.303,99	7.488	2.464	13,51
20/10/17	23.975,65	7.105,56	9.877,68	4.119,00	3.808,79	48.886,68	6.551	1.823	16,77
21/10/17	17.008,31	1.596,29	5.141,21	2.549,36	3.727,12	30.022,29	221	227	18
22/10/17	16.517,64	1.382,48	4.990,19	2.500,22	3.692,99	29.083,52	125	200	15
23/10/17	28.485,90	7.604,95	10.439,04	4.161,29	3.805,44	54.496,62	7.096	2.405	15,75
24/10/17	30.599,48	7.703,45	10.580,31	4.191,94	3.811,53	56.886,71	7.198	2.402	17,60
25/10/17	27.709,42	7.857,83	10.690,45	4.141,56	3.818,18	54.217,44	7.414	2.466	17,65
26/10/17	26.915,29	7.726,67	10.266,30	4.149,65	3.789,86	52.847,77	7.349	2.462	17,98
27/10/17	27.843,46	7.220,10	10.242,60	4.122,80	3.766,00	53.194,96	6.534	1.856	18,80
28/10/17	17.137,18	1.492,86	4.826,36	2.604,21	3.648,39	29.709,00	181	264	17
29/10/17	15.660,32	1.258,82	4.635,19	2.459,66	3.562,74	27.576,73	97	250	16
30/10/17	24.336,29	10.693,95	10.780,56	4.061,15	3.787,20	53.659,15	6.980	2.418	14,50
31/10/17	22.287,63	3.243,82	10.003,13	4.131,33	3.716,68	43.382,59	7.113	2.406	15,03



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/11/17	18.152,98	3.237,64	6.272,04	3.056,37	3.704,14	34.423,17	499	360	15
02/11/17	21.182,09	7.469,39	10.512,16	3.693,38	3.793,08	46.650,10	6.824	2.369	16,11
03/11/17	21.523,37	7.063,01	9.683,39	3.493,59	3.780,92	45.544,28	6.405	1.842	15,92
04/11/17	15.357,91	1.554,25	4.856,50	2.054,45	3.656,04	27.479,15	212	271	14
05/11/17	14.018,24	1.416,45	4.844,50	1.963,21	3.650,05	25.892,45	151	260	13
06/11/17	22.148,73	7.422,78	10.367,60	3.582,89	3.795,21	47.317,21	7.050	2.431	10,96
07/11/17	19.943,87	7.497,27	10.617,05	3.623,21	3.786,54	45.467,94	7.026	2.425	10,74
08/11/17	21.428,98	7.550,34	10.543,11	3.645,23	3.796,64	46.964,30	7.046	2.402	10,32
09/11/17	14.005,98	3.737,87	6.793,26	2.805,65	3.681,23	31.023,99	685	421	8
10/11/17	17.833,55	6.928,16	9.430,56	3.544,80	3.740,19	41.477,26	5.096	1.530	10,86
11/11/17	9.522,09	1.628,66	5.206,97	2.047,25	3.647,29	22.052,26	268	261	12
12/11/17	9.588,97	1.415,38	4.867,25	2.004,46	3.644,75	21.520,81	132	233	12
13/11/17	19.560,84	7.446,91	10.424,34	3.666,97	3.778,25	44.877,31	7.004	2.398	10,12
14/11/17	20.698,71	7.551,48	10.793,50	3.796,23	3.774,11	46.614,03	7.087	2.435	8,98
15/11/17	20.758,95	7.493,48	10.831,47	3.629,85	3.788,27	46.502,02	7.245	2.439	9,18
16/11/17	20.077,33	7.475,08	10.787,62	3.604,11	3.802,10	45.746,24	7.121	2.433	10,85
17/11/17	19.400,49	7.022,02	9.684,62	3.586,01	3.768,70	43.461,84	6.472	1.845	12,16
18/11/17	9.581,49	2.002,56	5.254,91	2.476,02	3.666,15	22.981,13	229	291	13
19/11/17	9.487,19	1.457,95	4.952,97	2.158,32	3.665,23	21.721,66	169	284	11
20/11/17	20.208,28	7.399,01	10.445,67	3.697,49	3.806,45	45.556,90	7.007	2.440	10,45
21/11/17	20.346,07	7.493,38	10.776,21	3.659,54	3.813,06	46.088,26	7.261	2.494	10,14
22/11/17	20.833,45	7.472,64	10.759,83	3.675,95	3.807,49	46.549,36	7.141	2.473	10,12
23/11/17	19.670,77	7.227,88	10.831,09	3.696,55	3.811,17	45.237,46	7.227	2.492	12,66
24/11/17	15.121,62	6.956,76	9.968,33	3.641,23	3.801,82	39.489,76	6.639	1.919	13,10
25/11/17	9.980,72	2.681,38	5.067,68	3.070,36	3.677,38	24.477,52	249	322	12
26/11/17	9.271,29	1.858,18	4.950,01	2.373,99	3.666,18	22.119,65	156	310	8
27/11/17	20.528,93	7.560,57	10.510,33	3.783,12	3.812,06	46.195,01	7.083	2.494	6,19
28/11/17	18.843,55	7.591,62	10.951,58	3.676,92	3.808,11	44.871,78	7.331	2.510	6,45
29/11/17	19.934,45	7.583,83	10.888,43	3.718,87	3.786,37	45.911,95	7.223	2.516	7,37
30/11/17	21.373,52	7.540,86	10.831,03	3.732,47	3.792,08	47.269,96	7.442	2.503	5,09

Día	Climatización	Iluminación	Oficinas	Parking	Salas IT	TOTAL DIARIO (kWh)	Ocupación Total	Ocupación Media	Temperatura
01/12/17	20.772,58	7.062,93	9.958,49	3.605,93	3.764,81	45.164,74	6.425	1.924	4,70
02/12/17	10.053,49	1.632,52	5.212,47	2.088,77	3.661,91	22.649,16	255	385	4
03/12/17	10.136,47	1.551,15	4.928,36	2.177,91	3.664,91	22.458,80	164	367	5
04/12/17	20.621,34	7.661,07	10.601,21	3.791,00	3.805,54	46.480,16	6.508	2.369	5,16
05/12/17	21.618,30	7.584,54	10.599,39	4.019,01	3.788,82	47.610,06	6.310	2.244	5,11
06/12/17	13.583,20	3.567,18	6.585,38	3.162,36	3.680,24	30.578,36	562	475	4
07/12/17	22.326,22	6.958,36	9.301,63	3.845,77	3.741,74	46.173,72	3.270	1.242	5,37
08/12/17	12.518,89	3.408,51	6.191,84	3.193,75	3.685,28	28.998,27	494	433	7
09/12/17	11.517,18	1.721,75	4.792,39	2.437,90	3.664,24	24.133,46	145	346	10
10/12/17	10.041,35	1.500,43	4.785,26	2.372,81	3.660,46	22.360,31	127	303	11
11/12/17	19.716,22	7.320,93	10.674,00	3.812,60	3.784,23	45.307,98	6.780	2.436	7,88
12/12/17	24.418,50	7.334,25	10.991,91	4.178,73	3.813,81	50.737,20	7.130	2.496	5,51
13/12/17	23.106,40	7.458,13	10.971,92	3.948,73	3.815,48	49.300,66	7.209	2.510	5,26
14/12/17	17.350,52	7.332,72	10.896,56	3.854,82	3.822,71	43.257,33	7.119	2.411	8,63
15/12/17	18.891,84	6.888,60	10.125,28	3.839,18	3.771,13	43.516,03	6.571	1.902	9,85
16/12/17	15.295,65	1.981,76	5.827,45	2.569,02	3.659,04	29.332,92	371	424	6
17/12/17	12.197,02	1.399,17	5.235,10	2.302,94	3.624,53	24.758,76	162	391	6
18/12/17	24.556,95	7.329,72	10.611,92	3.917,38	3.787,78	50.203,75	6.887	2.405	6,48
19/12/17	24.254,55	7.378,30	10.975,57	3.924,47	3.847,11	50.380,00	7.247	2.553	9,36
20/12/17	23.710,73	7.310,42	10.996,88	3.998,47	3.844,76	49.861,26	7.106	2.507	7,30
21/12/17	21.064,88	7.210,71	10.677,92	3.836,71	3.798,76	46.588,98	6.916	2.424	8,67
22/12/17	20.531,28	6.644,71	9.598,62	3.875,40	3.757,23	44.407,24	5.254	1.604	8,07
23/12/17	11.065,42	1.791,94	4.945,62	2.724,73	3.660,27	24.187,98	127	450	9
24/12/17	10.939,65	1.238,69	4.795,41	2.278,28	3.658,34	22.910	84	450	7
25/12/17	10.951,74	1.895,38	5.368,58	2.935,85	3.655,98	24.807,53	77,00	450,00	5,09
26/12/17	20.136,57	6.506,75	9.029,88	3.688,87	3.702,17	43.064,24	2.751	1.191	6,67
27/12/17	22.028,04	6.472,07	9.193,30	3.607,63	3.708,92	45.009,96	3.170	1.305	7,97
28/12/17	16.898,62	6.502,52	9.147,21	3.571,52	3.706,10	39.825,97	3.059	1.283	10,62
29/12/17	16.463,27	6.089,59	8.326,05	3.636,01	3.709,95	38.224,87	2.655	1.020	12,62
30/12/17	10.294,06	1.711,73	4.561,13	2.469,00	3.644,92	22.680,84	110	439	12
31/12/17	9.917,98	1.493,78	4.484,57	2.247,14	3.643,14	21.786,61	79,00	403,13	9,12

8.5. Coste de la Energía Eléctrica.

JULIO	€ FASE I	€ FASE II	Coste Total	Consumo (kWh)	OCUPACIÓN
01/07/17	1.331 €	2.446 €	3.777 €	30.265	188
02/07/17	1.334 €	2.454 €	3.788 €	32.218	102
03/07/17	2.337 €	4.273 €	6.610 €	66.430	6.457
04/07/17	2.355 €	4.278 €	6.633 €	64.589	6.699
05/07/17	2.343 €	4.187 €	6.530 €	66.988	6.682
06/07/17	2.149 €	4.201 €	6.350 €	57.719	6.617
07/07/17	2.106 €	4.001 €	6.107 €	51.345	5.782
08/07/17	1.336 €	2.390 €	3.726 €	32.670	170
09/07/17	1.339 €	2.381 €	3.720 €	35.529	93
10/07/17	2.297 €	4.169 €	6.466 €	64.212	6.331
11/07/17	2.357 €	4.283 €	6.640 €	66.331	6.668
12/07/17	2.412 €	4.300 €	6.712 €	69.648	6.618
13/07/17	2.494 €	4.282 €	6.776 €	74.124	6.856
14/07/17	2.472 €	4.177 €	6.649 €	73.038	6.049
15/07/17	1.357 €	2.397 €	3.754 €	41.512	143
16/07/17	1.355 €	2.398 €	3.753 €	42.005	98
17/07/17	2.465 €	4.287 €	6.752 €	71.888	6.025
18/07/17	2.434 €	4.242 €	6.676 €	71.620	6.379
19/07/17	2.406 €	4.262 €	6.668 €	70.869	6.427
20/07/17	2.364 €	4.239 €	6.603 €	67.950	6.332
21/07/17	2.341 €	4.153 €	6.494 €	66.590	5.583
22/07/17	1.235 €	2.492 €	3.727 €	37.696	195
23/07/17	1.345 €	2.384 €	3.729 €	37.605	123
24/07/17	2.326 €	4.114 €	6.440 €	67.250	5.777
25/07/17	2.292 €	4.269 €	6.561 €	62.589	5.959
26/07/17	2.294 €	4.172 €	6.466 €	64.347	5.981
27/07/17	2.381 €	4.207 €	6.588 €	69.749	5.863
28/07/17	2.233 €	4.192 €	6.425 €	73.339	5.254
29/07/17	1.344 €	2.399 €	3.743 €	47.483	147
30/07/17	1.236 €	2.400 €	3.636 €	48.024	93
31/07/17	2.367 €	4.292 €	6.659 €	75.083	4.497



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

AGOSTO	€ FASE I	€ FASE II	Coste Total	Consumo (kWh)	OCUPACIÓN
01/08/17	1.894 €	3.046 €	4.940 €	68.599	4.491
02/08/17	1.836 €	2.952 €	4.788 €	68.402	4.387
03/08/17	1.842 €	2.962 €	4.804 €	68.766	4.263
04/08/17	1.771 €	2.848 €	4.619 €	67.938	3.827
05/08/17	1.485 €	2.388 €	3.873 €	41.315	155
06/08/17	1.482 €	2.383 €	3.865 €	38.648	93
07/08/17	1.842 €	2.963 €	4.805 €	70.275	3.457
08/08/17	1.820 €	2.927 €	4.747 €	64.437	3.571
09/08/17	1.803 €	2.900 €	4.703 €	60.675	3.509
10/08/17	1.859 €	2.989 €	4.848 €	56.914	3.437
11/08/17	1.807 €	2.906 €	4.713 €	57.199	3.103
12/08/17	1.516 €	2.438 €	3.954 €	34.276	137
13/08/17	1.488 €	2.393 €	3.881 €	33.446	89
14/08/17	1.701 €	2.735 €	4.436 €	59.059	2.057
15/08/17	1.565 €	2.517 €	4.082 €	46.387	423
16/08/17	1.790 €	2.878 €	4.668 €	64.917	2.938
17/08/17	1.746 €	2.808 €	4.554 €	63.806	3.045
18/08/17	1.729 €	2.781 €	4.510 €	63.761	2.866
19/08/17	1.472 €	2.368 €	3.840 €	36.065	200
20/08/17	1.477 €	2.376 €	3.853 €	35.987	93
21/08/17	1.793 €	2.883 €	4.676 €	66.749	3.403
22/08/17	1.763 €	2.836 €	4.599 €	66.483	3.573
23/08/17	1.777 €	2.858 €	4.635 €	65.031	3.659
24/08/17	1.798 €	2.891 €	4.689 €	65.056	3.735
25/08/17	1.853 €	2.980 €	4.833 €	65.164	3.523
26/08/17	1.503 €	2.417 €	3.920 €	33.767	146
27/08/17	1.477 €	2.376 €	3.853 €	33.702	97
28/08/17	1.785 €	2.871 €	4.656 €	57.770	4.524
29/08/17	1.797 €	2.890 €	4.687 €	54.845	4.883
30/08/17	1.793 €	2.884 €	4.677 €	55.346	4.920
31/08/17	1.802 €	2.898 €	4.700 €	56.803	5.068



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

SEPTIEMBRE	€ FASE I	€ FASE II	Coste Total	Consumo (kWh)	OCUPACIÓN
01/09/17	4.207 €	3.435 €	7.642 €	54.670	4.835
02/09/17	2.789 €	2.527 €	5.316 €	32.163	156
03/09/17	2.801 €	2.508 €	5.309 €	32.199	103
04/09/17	4.375 €	3.566 €	7.941 €	57.950	6.003
05/09/17	4.460 €	3.580 €	8.040 €	60.408	6.301
06/09/17	4.588 €	3.565 €	8.153 €	62.422	6.284
07/09/17	4.556 €	3.711 €	8.267 €	61.112	6.318
08/09/17	4.565 €	3.772 €	8.337 €	60.832	5.817
09/09/17	2.837 €	2.544 €	5.381 €	34.934	185
10/09/17	2.797 €	2.545 €	5.342 €	34.400	124
11/09/17	4.358 €	3.637 €	7.995 €	56.973	6.648
12/09/17	4.316 €	3.716 €	8.032 €	57.861	6.820
13/09/17	4.480 €	3.803 €	8.283 €	59.513	7.075
14/09/17	4.463 €	3.755 €	8.218 €	60.421	6.830
15/09/17	4.119 €	3.711 €	7.830 €	53.188	6.287
16/09/17	2.777 €	2.611 €	5.388 €	30.804	169
17/09/17	2.770 €	2.611 €	5.381 €	30.855	113
18/09/17	4.141 €	3.821 €	7.962 €	54.466	6.854
19/09/17	4.125 €	3.802 €	7.927 €	53.430	7.228
20/09/17	4.470 €	3.946 €	8.416 €	60.044	7.277
21/09/17	4.288 €	3.809 €	8.097 €	57.657	7.102
22/09/17	4.127 €	3.559 €	7.686 €	55.643	6.515
23/09/17	2.825 €	2.488 €	5.313 €	32.701	176
24/09/17	2.872 €	2.508 €	5.380 €	33.628	109
25/09/17	4.381 €	3.803 €	8.184 €	57.956	7.197
26/09/17	4.160 €	3.769 €	7.929 €	54.829	7.028
27/09/17	4.134 €	3.667 €	7.801 €	53.774	7.117
28/09/17	4.181 €	3.616 €	7.797 €	54.859	6.952
29/09/17	4.169 €	3.541 €	7.710 €	54.352	6.654
30/09/17	2.814 €	2.472 €	5.286 €	32.286	172



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

OCTUBRE	€ FASE I	€ FASE II	Coste Total	Consumo (kWh)	OCUPACIÓN
01/10/17	2.887 €	2.512 €	5.399 €	32.742	127
02/10/17	4.303 €	3.573 €	7.876 €	57.045	6.938
03/10/17	4.361 €	3.585 €	7.946 €	58.956	7.090
04/10/17	4.380 €	3.609 €	7.989 €	58.681	7.165
05/10/17	4.337 €	3.619 €	7.956 €	59.269	7.378
06/10/17	4.489 €	3.721 €	8.210 €	59.357	6.613
07/10/17	2.794 €	2.685 €	5.479 €	33.423	189
08/10/17	2.782 €	2.645 €	5.427 €	31.741	115
09/10/17	4.456 €	3.951 €	8.407 €	60.875	7.111
10/10/17	4.375 €	3.938 €	8.313 €	58.494	7.110
11/10/17	4.309 €	3.816 €	8.125 €	57.492	6.924
12/10/17	2.936 €	2.813 €	5.749 €	36.858	473
13/10/17	4.121 €	3.565 €	7.686 €	52.560	4.234
14/10/17	2.793 €	2.611 €	5.404 €	30.381	155
15/10/17	2.806 €	2.572 €	5.378 €	31.078	110
16/10/17	4.051 €	3.563 €	7.614 €	53.438	7.027
17/10/17	3.804 €	3.559 €	7.363 €	50.098	7.241
18/10/17	3.732 €	3.546 €	7.278 €	48.072	7.197
19/10/17	3.754 €	3.640 €	7.394 €	49.304	7.488
20/10/17	3.816 €	3.497 €	7.313 €	48.887	6.551
21/10/17	2.781 €	2.514 €	5.295 €	30.022	221
22/10/17	2.712 €	2.545 €	5.257 €	29.084	125
23/10/17	4.057 €	3.705 €	7.762 €	54.497	7.096
24/10/17	4.231 €	3.711 €	7.942 €	56.887	7.198
25/10/17	4.086 €	3.667 €	7.753 €	54.217	7.414
26/10/17	4.103 €	3.643 €	7.746 €	52.848	7.349
27/10/17	4.243 €	3.534 €	7.777 €	53.195	6.534
28/10/17	2.821 €	2.482 €	5.303 €	29.709	181
29/10/17	2.757 €	2.488 €	5.245 €	27.577	97
30/10/17	3.954 €	3.621 €	7.575 €	53.659	6.980
31/10/17	3.902 €	3.618 €	7.520 €	43.383	7.113



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación. Enero 2018. Monitor Deloitte.
- [2] Informe anual de consumos energéticos 2016. IDEA.
- [3] Informe de Comportamiento Energético de las Empresas Españolas 2017. Endesa.
- [4] Guía de buenas prácticas energéticas en oficinas. Twenergy.
- [5] Guía de buenas prácticas energéticas en oficinas 2017. Fenercom.
- [6] Plan nacional de acción de eficiencia energética 2017-2020. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.
- [7] Informe del observatorio de eficiencia energética. Club de Excelencia en Sostenibilidad.
- [8] Análisis energético de dimensionamiento de energía en fase de proyecto y la realidad de consumo en un edificio de nueva construcción. Eduardo Garrido Quintana.
- [9] Proyectos emblemáticos en el ámbito de la energía geotérmica. Fenercom.
- [10] Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización. IDAE.
- [11] Informe del sistema eléctrico español 2017. REE.
- [12] Informe de precios 2017. OMIE.
- [13] Calificación de la eficiencia energética de los edificios. IDAE.
- [14] Apuntes asignatura de Instalaciones Industriales Curso 2017-2018.
- [15] Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios.
- [16] Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto. IDAE.
- [17] Nueva enciclopedia de la climatización: Aire acondicionado. Ángel L. Miranda Barreras.



[18] Nota informativa del Sistema de Garantía de Origen y Etiquetado de la electricidad relativo a la energía del año 2015.

[19] Cogeneración de pequeña potencia. Fundación asturiana de la energía.

[20] Guía de la cogeneración. Fenercom.