



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Titulación: **GRADUADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**

Itinerario: **Gestión y Aprovechamiento Energético**

PROYECTO FIN DE GRADO

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y COMBUSTIBLES

REVISIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO TERCIARIO

NEREA DÍAZ BRAVO

SEPTIEMBRE DE 2024



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Titulación: **GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**

Itinerario: **Gestión y Aprovechamiento Energético**

Revisión energética de un edificio terciario

Realizado por

Nerea Díaz Bravo

Dirigido por

Lucía Arévalo Lomas



ÍNDICE

RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	VIII
DOCUMENTO N° 1: MEMORIA	1
1. Objetivos y alcance	2
2. Introducción	3
3. Descripción del edificio.....	6
3.1 Características generales	6
3.2 Envoltente	9
3.2.1 Cerramientos.....	9
3.2.2 Cubierta.....	9
4. Análisis de los consumos.....	11
4.1 Consumo eléctrico	15
5. Inventario energético	24
5.1 Climatización	24
5.1.1. Generación de calor y frío para climatización.....	24
5.1.2. Unidades terminales	24
5.2 Iluminación	28
5.3 ACS (Agua Caliente Sanitaria)	30
5.4 Fuerza.....	30
5.4.1. Sistemas CPD	30
5.4.2. Equipos auxiliares de refrigeración	30
5.4.3. Otros consumidores.....	30
6. Indicadores de desempeño energético.....	32
7. Previsión de consumo	42
8. Medidas de ahorro energético.....	45
8.1 Medida propuesta 1: Instalación de módulo free-cooling en la sala CPD	46
8.2 Medida propuesta 2: Instalación de control del alumbrado mediante detectores de presencia.....	49



8.3 Medida propuesta 3: Sustitución del sistema de iluminación por tecnología LED.	50
.....	
8.4 Medida propuesta 4: Bloqueo de consignas en termostatos.	55
9. Medida de ahorro económico: Optimizar la potencia contratada.	57
10. Conclusiones	66
BIBLIOGRAFÍA	67
DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO	70
1. Costes	71
2. Tiempo estimado para llevar a cabo el proyecto	75
3. Coste de realización de la revisión energética	78
DOCUMENTO N° 3: ANEXOS	81
ANEXO 1: Características de la distribución del edificio	82
ANEXO 2: Unidades terminales del edificio	83
ANEXO 3: Inventario de equipos	88



ÍNDICE DE TABLAS

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

Tabla 1: Características del suministro eléctrico	11
Tabla 2: Variables a utilizar en la línea base	36
Tabla 3: Resultado del indicador de desempeño energético	38
Tabla 4: Resultado línea base 2023	39
Tabla 5: Resultado de comparar consumo 2024 con línea base	39
Tabla 6: Variables utilizadas para la previsión	42
Tabla 7: Previsión de consumo de la segunda mitad del año 2024	43
Tabla 8: Comparativa consumos 2023 y previsión 2024	44
Tabla 9: Precios actuales del término de potencia	58
Tabla 10: Precios actuales del exceso de potencia.....	59
Tabla 11: Precios de los términos de energía reactiva inductiva	60
Tabla 12: Precios de los términos de energía reactiva capacitiva.....	61
Tabla 13: Potencias máximas consumidas por periodos y meses.....	62
Tabla 14: Comparación de precios en situación actual y futura	65

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

Tabla 1: Propuesta para la sustitución de luminarias.....	72
Tabla 2: Propuesta para instalación de freecooling	73
Tabla 3: Propuesta para detección de presencia	73
Tabla 4: Resumen de las MAEs propuestas.....	74

DOCUMENTO N° 3: ANEXOS

Tabla 1: Características de la distribución del edificio.....	82
Tabla 2: Equipos de generación para climatización.....	89
Tabla 3: Inventario de unidades terminales	89
Tabla 4: Inventario para ACS: termos eléctricos.....	90
Tabla 5: Inventario de los sistemas CPD	90
Tabla 6: Inventario de iluminación.....	90



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA



ÍNDICE DE FIGURAS

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

Figura 1: Identificación de edificios	8
Figura 2: Discriminación horaria para la tarifa 3.0TD por periodos en el año 2024	14
Figura 3: Curva horaria del consumo de electricidad	15
Figura 4: Evolución mensual del consumo eléctrico	17
Figura 5: Mapa de calor una semana de enero	21
Figura 6: Mapa de calor una semana de julio	22
Figura 7: Mapa de calor una semana de diciembre.....	23
Figura 8: Sistema de gestión del edificio	25
Figura 9: Sistema de gestión ejemplo unidad interior	26
Figura 10: Sistema de gestión otro ejemplo unidad interior	26
Figura 11: Sistema de gestión ejemplo recuperador	27
Figura 12: Reparto de potencia instalada tecnología de iluminación	28
Figura 13: Distribución de energía del edificio por subsistemas	31
Figura 14: Comparativa de Grado Día Calefacción y consumo eléctrico del 2023.....	32
Figura 15: Comparativa de Grado Día Refrigeración y consumo eléctrico del 2023.....	33
Figura 16: Esquema de funcionamiento de free-cooling	46
Figura 17: Horas de aprovechamiento de un free-cooling.....	47
Figura 18: Espectros de onda por tipo de iluminación	51
Figura 19: Curvas de reducción de flujo lminoso por tipo de iluminación	52
Figura 20: Eficiencia luminosa de las diferentes lámparas.....	53
Figura 21: Cálculo de la eficiencia luminosa.....	54
Figura 22: Cuadrantes para saber energía reactiva inductiva o capacitiva	60
Figura 23: Comparación del periodo 3 con la potencia contratada	63

DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO

Figura 1: Diagrama de Grantt para sustitución de luminarias	75
Figura 2: Diagrama de Grantt para detección de presencia	76



Figura 3: Diagrama de Grantt para instalación de freecooling 77
Figura 4: Diagrama de Grantt para la realización de la revisión energética 79

DOCUMENTO N° 3: ANEXOS

Figura 1: Unidades terminales planta Baja 83
Figura 2: Unidades terminales planta Primera del Torreón 84
Figura 3: Unidades terminales planta Primera y Segunda del Torreón 86
Figura 4: Unidades terminales planta Segunda y Tercera del Torreón 87
Figura 5: Unidades terminales planta Tercera y Cuarta del Torreón 88



RESUMEN

En la actualidad, la optimización y el aprovechamiento eficiente de la energía se han convertido en prioridades clave para la sociedad. Las revisiones energéticas son herramientas esenciales para evaluar el consumo energético en edificios, instalaciones e industrias. Estas revisiones tienen como objetivo principal identificar áreas de alto consumo y proponer estrategias para reducirlo, lo que conlleva beneficios significativos tanto económicos como energéticos al permitir un ahorro de recursos y costes.

Este trabajo se centra en analizar en detalle la eficiencia energética y económica de un edificio, considerando sus distintos modos de funcionamiento y las estrategias de eficiencia implementadas. Los resultados obtenidos permiten determinar el modo de operación más eficiente y económico, optimizando así el uso de la energía.

ABSTRACT

Currently, optimizing and efficiently utilizing energy have become key priorities for society. Energy audits are essential tools for evaluating energy consumption in buildings, facilities, and industries. These audits aim to identify high consumption areas and propose strategies to reduce it, leading to significant economic and energy benefits by enabling resource and cost savings. This work focuses on a detailed analysis of the energy and economic efficiency of a specific building, considering its various operating modes and implemented efficiency strategies. The results obtained help determine the most efficient and cost-effective mode of operation, thus optimizing energy use.



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

1. Objetivos y alcance

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el consumo energético del centro objeto de estudio, estudiando y analizando a fondo los diferentes usos de la energía. Se recogen todos los datos pasados y futuros para la realización de una línea base, que sirve para evaluar cambios, medir el progreso y tomar decisiones basadas en datos específicos.

Además, tras analizar esos consumos en sus diferentes usos se puede evaluar qué mejoras y medidas de eficiencia energética se pueden realizar en el centro estudiado y estimar qué cantidad de energía se ahorra tras introducirlas. Por ello, se propondrán una serie de soluciones y se evaluará la viabilidad económica y técnica de las propuestas dadas para reducir el consumo de cualquier tipo de energía y los impactos ambientales que estén asociados a ella, pero sin afectar de manera negativa a la comodidad de las personas que ocupan el lugar.

Como último objetivo, se diseñará en detalle un plan para la realización de las propuestas incluyendo costes y recursos que se necesitan. También, se establecerá el seguimiento y evaluación de las medidas tomadas para medir el éxito y corroborar la idea principal.

El alcance de este proyecto es realizar una revisión energética detallada del edificio y, para ello, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Recogida y análisis de datos pasados y actuales de consumo energético.
- Evaluación de los sistemas de climatización, iluminación y otros equipos eléctricos.
- Análisis de los consumos de cada equipo eléctrico del edificio.
- Creación de mapas de calor y otras herramientas para detectar patrones de consumo.
- Comparación de los datos con indicadores de eficiencia energética.
- Previsión de futuros consumos.
- Propuestas de medidas para mejorar la eficiencia energética.
- Viabilidad económica de cada medida de ahorro energético.

2. Introducción

La crisis del petróleo de 1973 y 1979 reveló la vulnerabilidad de las economías dependientes de los combustibles fósiles y puso de manifiesto la importancia de la eficiencia energética. Por ello, gobiernos y empresas comenzaron a buscar formas de reducir el consumo de energía para afrontar la volatilidad de los precios del petróleo. En Estados Unidos la Ley de Política y Conservación de Energía de 1975 fue uno de los primeros grandes intentos y otros muchos países lanzan sus propias normas de gestión energética.

La Norma ISO 50001 se desarrolló a petición de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) que proporciona una estructura para administrar la energía de manera eficiente y su propósito es permitir a las organizaciones o centros establecer sistemas que permitan mejorar el rendimiento de la energía. Su publicación original fue en 2011 pero en el año 2018 se publicó su nueva versión, vigente hasta el momento. Su implementación da un nuevo enfoque que busca la mejora del desempeño energético y puede cambiar la manera en la que se gestiona la energía en cada organización. Al introducir la gestión de la energía, cada organización puede establecer una serie de mejoras en el desempeño energético. Esto se aplica a cualquier tipo de organización sin tener en cuenta su tamaño, su ubicación, cultura o productos y servicios que ofrece [1,2].

La definición de una Revisión Energética es: “Análisis de la eficiencia energética, el uso de la energía, y el consumo de energía, con base en los datos y otra información, orientada a la identificación de los usos significativos de la energía (USEs) y de las oportunidades de mejora del desempeño energético” [3]. Por lo tanto, la realización de esta es un punto indispensable para la implementación eficaz de la ISO 50001.

La primera parte de una Revisión Energética es identificar cuáles son las fuentes de energía del centro de estudio, las cuales pueden ser combustibles, electricidad, vapor, calor, aire comprimido, entre otros, para tener un estudio completo de las diversas formas de energía que se consumen, de qué manera se distribuyen y, con esto, dónde pueden existir oportunidades de mejora.

Una vez se han identificado cada una de ellas se analizan los patrones de consumo de energía, se identifican las áreas de mayor uso, es decir, las instalaciones, equipamientos, sistemas y procesos que tienen un consumo significativo. Si alguno de ellos lo es, se hará un estudio más a fondo sobre esa área de gran consumo. Esto es necesario para detectar posibles mejoras energéticas y proponer ideas para poner en acción esas posibles mejoras.

Hay dos elementos fundamentales para realizar el seguimiento del desempeño energético del centro que son los indicadores de desempeño energético y las líneas de base, con las que se puede estimar cual es el valor actual de consumo si no se toma ninguna mejora y poder compararlo con el consumo real para calcular el ahorro generado con las mejoras y medidas implantadas.

Además, se realizan una serie de estimaciones para obtener el uso y consumos futuros de las áreas significativas y, así, poder tener una visión sobre si todas las mejoras detectadas van a tener un uso eficiente y un ahorro considerable para el centro aparte de que sean implantadas eficazmente.

Las revisiones energéticas están evolucionando para incluir aspectos más amplios de sostenibilidad, como son la integración de energías renovables y la reducción de la huella de carbono. También, se consideran modelos de economía circular cuyo objetivo es aprovechar al máximo los materiales de los que disponemos y, así, alargar el ciclo de vida de los productos. Este ciclo se basa en:

- Reducir: minimizar el número de recursos que han sido utilizados para evitar el derroche de materiales y, con ello, de energía. Un ejemplo puede ser utilizar productos con menor embalaje o conducir vehículos que consuman el mínimo combustible.
- Reutilizar: dar una segunda vida a productos y materiales, utilizándolos de nuevo en su forma original o con algunos cambios, lo que va a hacer que se disminuya la necesidad de crear cada vez nuevos materiales.
- Reciclar: transformar y modificar los materiales que han sido desechados en productos nuevos, evitando así que acaben directamente en la basura. Por ejemplo, el papel se tritura, el plástico se derrite y el vidrio se funde para volver a formarlo y volver a crear nuevos materiales con productos ya utilizados.

Estos enfoques buscan también fomentar una gestión más responsable, contribuyendo a un menor impacto ambiental y a una economía más sostenible y fuerte a largo plazo.

En resumen, las revisiones energéticas se han creado y desarrollado a través de una serie de factores clave como son la crisis económica, los avances tecnológicos, las políticas y acuerdos, dando una visión creciente en la eficiencia y la sustentabilidad. Estos desarrollos han sido creados con la necesidad de adaptarse al cambio del entorno energético y que, aparte de optimizar el uso de recursos, también para reducir los impactos ambientales a futuro.

La adopción de las energías renovables es creada directamente en respuesta a la crisis económica y a la variación de precios de los combustibles fósiles que han creado la necesidad de fuentes de energía más estables y más accesibles.

En conclusión, los enfoques actuales en las revisiones energéticas no solo se centran en mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía, sino también en promover un desarrollo económico para que sea compatible con el cuidado del medio ambiente. Al introducir energías renovables, fomentar la economía circular y adoptar prácticas de sostenibilidad, estamos construyendo una economía capaz de afrontar los desafíos futuros, garantizando un menor impacto ambiental.

3. Descripción del edificio

3.1 Características generales

El edificio del presente estudio se sitúa en La Coruña, Galicia y la construcción del centro consta de una superficie construida de 5.659 m² sobre una superficie en terrenos de 9.932 m², no obstante, el centro objeto no es la única construcción existente en dicha parcela, por tanto, la superficie construida aplicable al centro es inferior a la mencionada. El centro está conformado por dos edificios, el edificio principal y el torreón.

La fachada principal del edificio, la de su acceso principal, cuenta con orientación sur, el resto de las fachadas, al tratarse de un edificio de planta rectangular, presentan las orientaciones perpendiculares a la primera. En sus caras este y oeste, el edificio cuenta con una amplia distancia con las edificaciones próximas y aunque frente a su fachada sur existen edificaciones cercanas, estas no superan la altura del edificio, por tanto, no existe ningún elemento capaz de proyectar sombra sobre el mismo.

Debido a las características definidas en el párrafo anterior, el centro recibe una gran cantidad de incidencia solar directa, fundamentalmente durante las estaciones estivales, así como en los días despejados.

Como se menciona anteriormente el centro objeto está conformado por dos edificios, el edificio principal que consta de 4 alturas y el Torreón que consta de 5 alturas, además, existe un aparcamiento subterráneo.

El uso de ambos edificios está destinado a oficinas, a excepción de la última altura del torreón que alberga un CPD (Centro de Procesamiento de Datos). Los CPD son instalaciones dedicadas a la disposición, procesamiento, almacenamiento y distribución de datos, donde se alojan servidores físicos y virtuales, procesando y almacenando grandes volúmenes de datos. Para mantener su funcionamiento, están equipados con sistemas de enfriamiento avanzados ya que estos equipos generan mucho calor y necesitan refrigeración. Además, cuentan con grupos electrógenos para garantizar el suministro eléctrico continuo, sistemas de detección de incendios y varias medidas de seguridad para proteger la gran cantidad de datos almacenados.

El funcionamiento de un centro de datos implica un constante monitoreo y el mantenimiento de software y hardware, una transferencia segura de datos a través de redes de alta velocidad y la disponibilidad y seguridad para asegurar la continuidad del centro [4].

El régimen general de funcionamiento del centro es de lunes a viernes de 07:00 a 23:00 aunque la mayoría de los viernes el horario se acorta hasta las 16:00 o 17:00.

Actualmente, cuenta con un porcentaje de ocupación del 15%, una cifra considerablemente baja debido a las consecuencias dejadas por la pandemia de COVID-19. Antes de la pandemia, el edificio tenía una mayor tasa de ocupación, con la gran mayoría de sus espacios habitados de manera continua. Sin embargo, la situación cambió con la implementación del teletrabajo, una medida adoptada para evitar el riesgo de contagios. Como consecuencia de la pandemia, se ha producido un cambio significativo y, aunque hayan pasado cuatro años, actualmente se apuesta por una mayor tasa de teletrabajo.

En la Figura 1 podemos observar un plano de las dos zonas del edificio, tanto del torreón como de la parte principal:

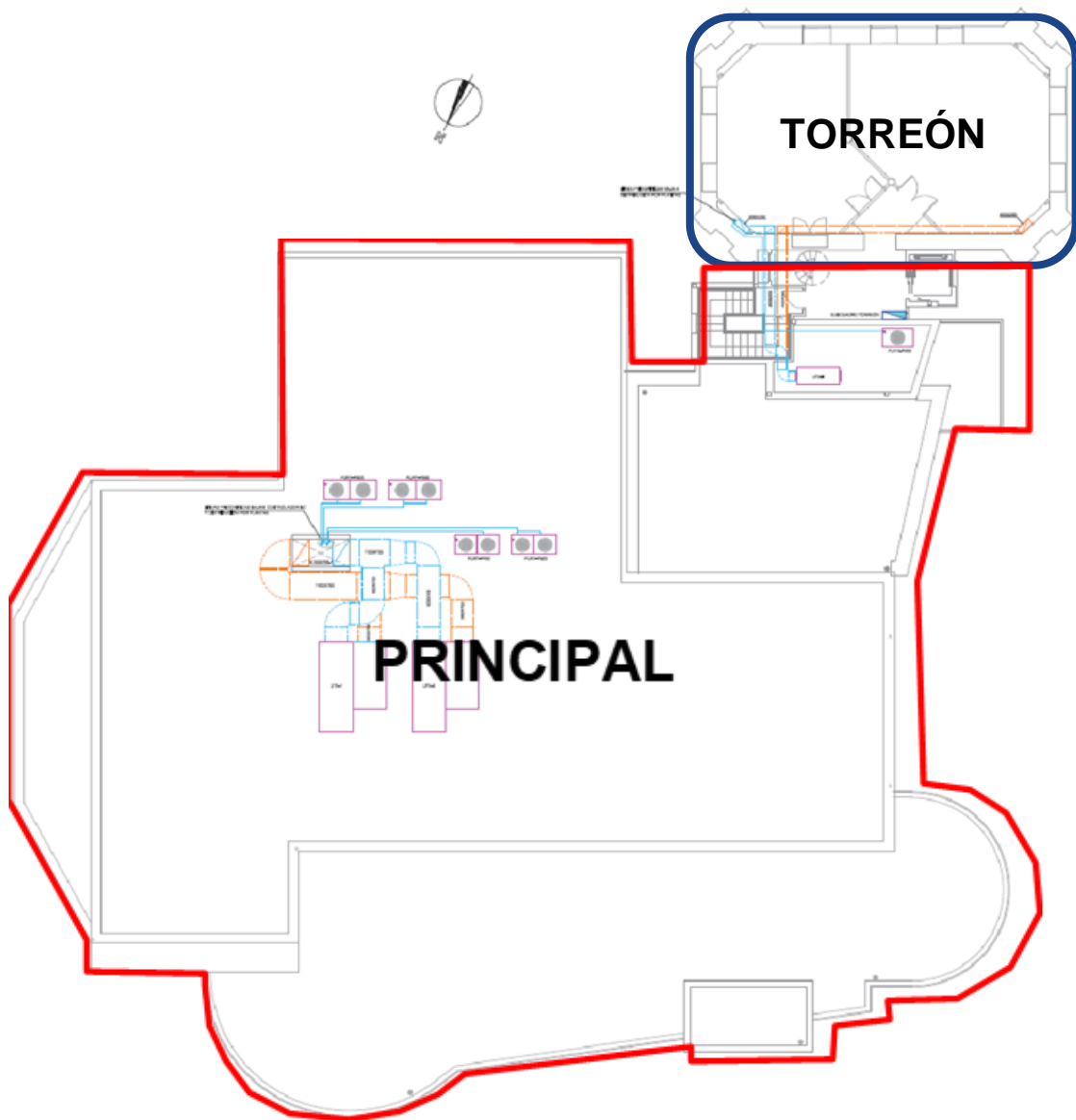


Figura 1: Identificación de edificios

3.2 Envoltente

La descripción detallada de la envoltente del centro ha sido elaborada basándose en la documentación técnica proporcionada en el proyecto de ejecución del edificio. Este proyecto constituye un documento fundamental, en el cual se especifican todos los aspectos constructivos y técnicos necesarios para llevar a cabo la construcción del edificio conforme a los estándares y normativas vigentes. A continuación, se proporciona una descripción de los elementos que conforman la envoltente del edificio, abarcando tanto la cubierta como los cerramientos.

3.2.1 Cubierta

La cubierta del edificio principal se caracteriza por ser plana no transitable, finalizada mediante un revestimiento impermeabilizante, cuya función principal es proteger la estructura del edificio contra la infiltración de agua, asegurando así durabilidad y que el edificio permanezca en buen estado.

La cubierta del torreón es de tipo inclinada a cuatro aguas. Este tipo de cubierta es eficiente para el drenaje del agua de lluvia y la nieve, evitando acumulaciones que puedan causar daños. Está finalizada mediante paneles tipo sándwich, que consisten en dos capas externas rígidas y un núcleo interno aislante.

3.2.2 Cerramientos

El edificio principal está construido mediante una estructura de hormigón armado, material muy utilizado en la construcción debido a su durabilidad y resistencia. La mayor parte de su fachada está resuelta mediante muro cortina. Este sistema consiste en una fachada ligera, normalmente compuesta por paneles de vidrio y aluminio, que permite la entrada de luz natural, mejorando la eficiencia energética y la comodidad interior. No obstante, existen secciones de fachada finalizadas mediante un aplacado pétreo, que implica el uso de placas de piedra natural o artificial adherida a la estructura del edificio dando una apariencia sólida junto con durabilidad y resistencia.



La fachada del torreón por su parte cuenta con un revestimiento similar a las superficies no vidriadas del edificio principal contando además con un porcentaje muy inferior de superficie acristalada en comparación con el edificio principal.

Las superficies vidriadas están conformadas por dobles acristalamientos, que consisten en dos capas de vidrio separadas por una cámara de aire o gas, que mejora las propiedades de aislante térmico y acústico. Están montados sobre perfiles metálicos sin rotura de puente térmico (RPT). La ausencia de RPT implica que podría haber una transferencia de calor a través del metal y podría afectar las propiedades de aislamiento térmico de las superficies que están acristaladas.

4. Análisis de los consumos

El edificio solo utiliza energía eléctrica. Toda la energía utilizada es suministrada por la comercializadora con la que se tiene contratada garantía de origen. Llega al centro a través de un suministro con las características de la Tabla 1:

Tabla 1: Características del suministro eléctrico

Tipo de Mercado	Libre
Tarifa	3.0 TD
Potencia contratada	185,71 kW de P1 a P5, y 375 kW en P6

Los gastos energéticos del edificio se reflejan en su consumo de electricidad. La recogida de los datos de uso y consumo se realiza descargando los datos del contador de compañía con detalle de consumo horario.

Para la evaluación de los distintos usos y consumos, se han establecido unos criterios para determinar el nivel de significancia de cada uso y consumo energético, con el fin de establecer cuándo es relevante cada uno de ellos. Un uso o consumo energético podrá considerarse significativo siempre que cumpla; alguno de los siguientes criterios:

- Su uso/consumo parcial en la organización respecto al uso/consumo total del tipo de energía al que pertenezca sea superior al 30%.
- Se detecta una medida de ahorro u oportunidad de mejora en el mismo.

El desglose del consumo eléctrico se realiza separando por equipos de climatización, sistema de alumbrado, sistemas de agua caliente sanitaria (en adelante: ACS), consumo de sistemas informáticos y centro de procesamiento de datos (en adelante CPD), y resto de equipos productivos conectados a red, denominados “otros”.

El mercado eléctrico se divide en dos tipos: el mercado regulado y el mercado libre.

En el regulado, el precio de los productos o servicios está controlado por una autoridad gubernamental o reguladora la cual establece las tarifas y condiciones. Este, se basa en la tarifa PVPC (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor), que cuenta con un precio que cambia día a día y hora a hora según la oferta y demanda por lo que hay franjas horarias más caras y otras más baratas. En invierno y en verano se paga más debido a las calefacciones y aires acondicionados [5,6].

La tarifa regulada se utiliza para potencias contratadas de hasta 10 kW y esta potencia se calcula sumando las diferentes potencias de electrodomésticos comunes, iluminación y otros consumos que sean significativos.

$$Potencia\ contratada = \frac{Suma\ de\ Potencias\ de\ los\ Aparatos\ (W)}{1000}$$

En este tipo, ni la compañía eléctrica ni el usuario tienen un control directo sobre la tarifa de consumo por lo que el usuario no sabe cuánto va a pagar en un mes hasta que llegue la factura. Además, este mercado no pueden utilizarlo todas las comercializadoras, solo las llamadas “de referencia”.

En cambio, en el mercado libre, que es el que hay en el centro, los precios se establecen entre los vendedores y compradores, mediante las leyes de la oferta y la demanda para llegar a un precio de equilibrio por lo que es un mercado competitivo en el que cada empresa tiene sus propias estrategias y ofertas individuales [7].

Los consumidores pueden decidir entre que el precio de su tarifa sea fijo o variable. Con la tarifa fija se paga un precio fijo por kWh por lo que la factura no depende de subidas y bajadas en el mercado. Este precio se establece entre el cliente y la comercializadora cuando se firma el contrato. Su principal ventaja es la estabilidad y previsibilidad ya que el precio no se verá afectado por los cambios que pueda haber. Por otro lado, la tarifa variable es aquella en la que los meses donde la demanda sea menor y el precio de la factura también será menor, pero en los meses donde la demanda sea mayor y el precio también se pagará más en la factura a final de mes. Su principal ventaja es que puede ofrecer ahorros en periodos donde la demanda sea muy baja [8].

En el centro analizado en este trabajo se tiene una tarifa 3.0TD la cual está diseñada para los puntos de suministro de baja tensión con más de 15 kW de potencia contratada, siendo especialmente para pequeñas y medianas empresas. A partir del 1 de junio de 2021, la denominación anterior, 3.0A, fue cambiada a 3.0TD [9].

Esta tarifa ofrece una estructura compleja con seis periodos de energía y se puede contratar una potencia diferente a cada uno de los distintos periodos. Cada uno de los periodos tiene asignado un precio específico tanto para la energía como para la potencia contratada. Los precios más altos son en el periodo 1 (P1) y disminuyen de precios progresivamente hasta el periodo más barato que es el 6 (P6). Las potencias contratadas deben incrementarse secuencialmente, lo que quiere decir que la potencia del periodo 2 (P2) siempre debe ser igual o mayor que la del periodo 1 (P1) pero nunca menor.

Además, el año se divide en cuatro temporadas que son alta, media alta, media y baja, cada una de ellas con tarifas que varían según la demanda y la zona (Península, Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla). La temporada alta corresponde a los meses más fríos y calurosos, es decir, el verano y el invierno. Los sábados, domingos y festivos nacionales tienen una tarifa diferenciada.

Cada usuario es libre de elegir qué potencia contratar para cada tramo horario contando con las necesidades de su centro. Si se realiza una distribución buena de actividades en las horas de menor valor, la factura será mucho más optimizada y habrá un mayor ahorro [10].

El BOE (Boletín Oficial del Estado) es el medio de publicación de leyes, disposiciones, actos administrativos y normativas de carácter general que es conocido a nivel público por todos los ciudadanos. En él están todos los precios de cada una de las tarifas existentes que se van actualizando año a año ya que no todos los años el precio de cada periodo cuesta lo mismo.

En la Figura 2 se pueden ver los distintos periodos que hay cada mes del año y a las distintas horas de cada día.

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

P1 Periodo más caro
 P6 Periodo más económico

A las 24 horas del día de los sábados, domingos y festivos nacionales se les aplicará el periodo más económico (P6)

Figura 2: Discriminación horaria para la tarifa 3.0TD por periodos en el año 2024

4.1 Consumo eléctrico

Como ya se ha comentado, el centro cuenta con una única fuente de energía, electricidad. A continuación, en la Figura 3 se muestra la curva horaria de consumo de electricidad en kWh correspondiente al año 2023:

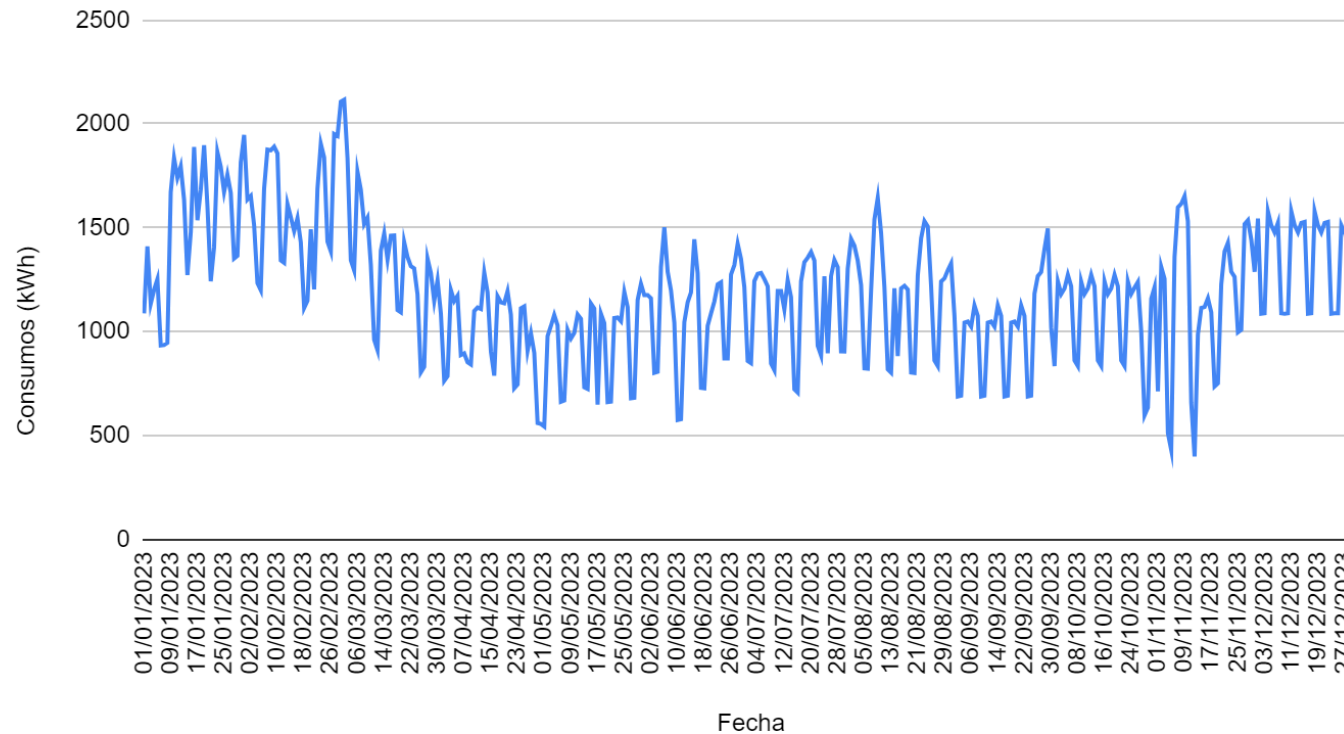


Figura 3: Curva horaria del consumo de electricidad

El análisis del consumo de electricidad a lo largo del año 2023 tiene patrones importantes que nos permiten comprender mejor las dinámicas energéticas del centro de estudio. La gráfica adjunta muestra variaciones mensuales, destacando los picos en determinados periodos del año y permitiéndonos identificar factores que influyen en estas subidas y bajadas.

Esta refleja un aumento notable del consumo eléctrico en dos periodos principales: los meses de invierno que son enero, diciembre y febrero y los meses de verano (junio, julio y agosto). Estos picos de consumo pueden atribuirse a varios factores estacionales y operativos.

En el período de invierno, principalmente enero, febrero y diciembre presentan incrementos significativos en el consumo de electricidad. Este aumento puede asociarse con las bajas temperaturas de invierno, que llevan a un uso intensivo de sistemas de climatización.

Durante el período de verano, específicamente en junio, julio y agosto, se observa otro pico considerable en el consumo de electricidad. Este aumento está relacionado con las altas temperaturas, que provocan un uso intensivo de sistemas de aire acondicionado para mantener condiciones confortables dentro del centro. La necesidad de enfriamiento incrementa significativamente la demanda energética durante estos meses.

Varios factores contribuyen a estos incrementos en el consumo eléctrico. En primer lugar, la climatización, tanto en invierno como en verano, es el principal motor de los picos de consumo. El uso de calor y frío constituye la mayor parte de la demanda energética en estos periodos.

Este análisis subraya la importancia de implementar estrategias de eficiencia energética, especialmente en los sistemas de climatización, para gestionar y optimizar el consumo de electricidad en el centro. Mejorar la eficiencia de estos sistemas no solo reduce el consumo total de energía, sino que también puede disminuir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental. Además, planificar el uso energético y considerar tecnologías más eficientes puede contribuir a reducir los picos de consumo y promover la sostenibilidad a largo plazo.

Para realizar un estudio más completo sobre el consumo eléctrico del centro se realiza una comparativa entre los últimos cinco años:

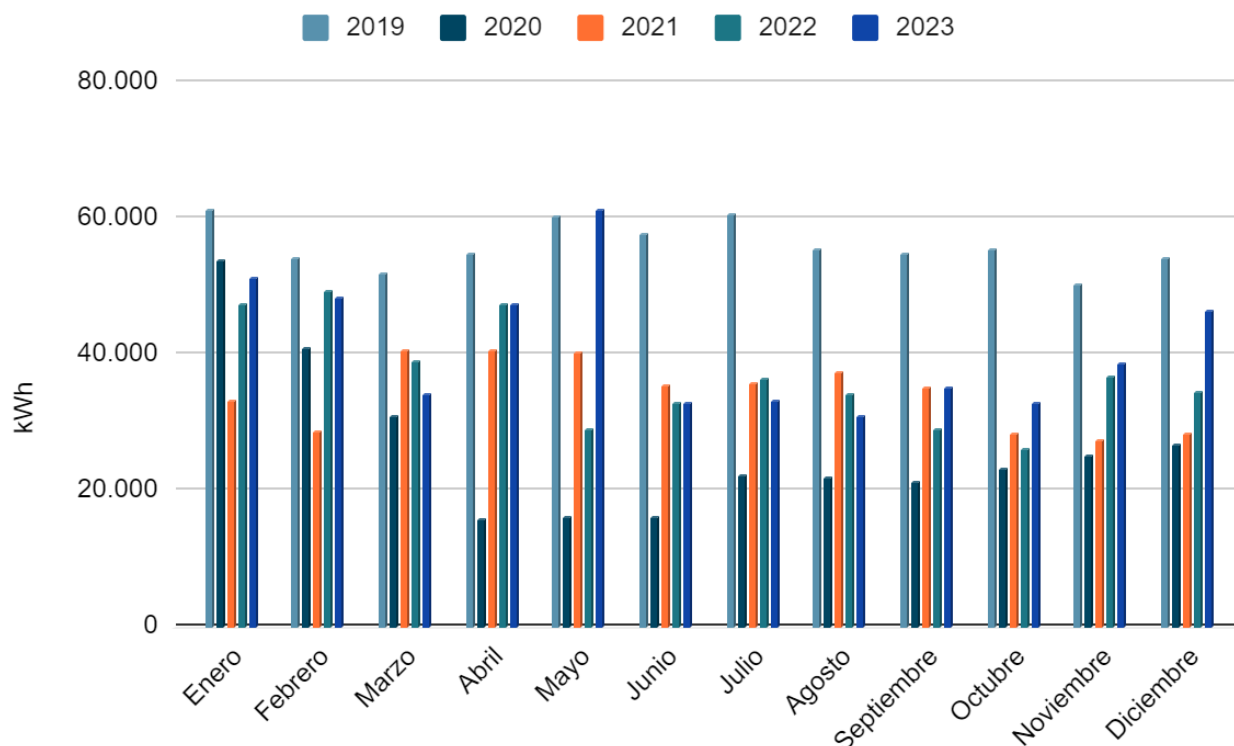


Figura 4: Evolución mensual del consumo eléctrico

La Figura 4 presenta la evolución del consumo de electricidad durante el periodo comprendido entre 2019 y 2023, permitiéndonos observar los posibles factores que han influido en los cambios en el consumo energético del centro a lo largo de estos cinco años.

En 2019, el consumo se mantuvo relativamente estable, con ligeras variaciones mensuales que corresponden a los cambios estacionales típicos, mostrando una mayor demanda en los meses de verano e invierno debido al uso intensivo de sistemas de climatización.

En 2020, se observa una notable disminución en el consumo a partir de marzo, coincidiendo con el inicio de la pandemia de COVID-19 y las medidas de confinamiento que redujeron significativamente la actividad en el centro. Este consumo se mantuvo durante gran parte del año, con una muy ligera subida hacia finales de 2020 cuando comenzaron a relajarse las restricciones.

En el año 2021 podemos ver una mejora gradual del consumo eléctrico, aunque no se alcanzan los niveles del 2019, es decir, antes de la pandemia. Se puede ver un incremento constante, especialmente en la segunda mitad del año en el que se comenzaron a realizar de nuevo varias actividades de manera presencial para, así tener una vuelta a la normalidad lo más pronto posible.

En 2022, el consumo se estabiliza y se aproxima a los niveles de 2019, adoptando una completa recuperación de las actividades del centro. La gráfica refleja un patrón estacional similar a los años anteriores, con picos de consumo en los meses de verano e invierno.

El 2023 presenta un consumo ligeramente superior al de 2022 en los primeros meses, lo que podría indicar una expansión de las actividades del centro o la implementación de nuevos equipos con mayor demanda eléctrica. Además, podría haber una mayor ocupación del centro al instaurar de nuevo todo el trabajo presencial y, con ello, más demanda eléctrica. Sin embargo, hacia el tercer trimestre del año, se observa una ligera disminución, posiblemente atribuible al comienzo de iniciativas de eficiencia energética o cambios en la operación del centro.

En conclusión, la pandemia de COVID-19 tuvo un impacto significativo en el consumo de electricidad, reduciendo drásticamente la demanda en 2020 y afectando la recuperación en 2021. A partir de ese año, se nota una recuperación constante, alcanzando niveles similares a los que había antes de la pandemia en 2022 y manteniéndose estables en 2023. Esto lo podemos ver en el consumo total anual de cada año, en el año 2019 el consumo total fue de 671262 kWh, en el año 2020 fue de 313350 kWh, en el 2021 de 410889 kWh, en el 2022 de 441655 kWh y en el año 2023 fue de 492166 kWh. Por lo tanto, podemos ver como en el año 2020 el consumo baja drásticamente a la mitad del 2019 y que poco a poco y año a año el consumo eléctrico va subiendo.

El consumo de electricidad sigue mostrando un patrón estacional claro, con incrementos durante los meses de verano e invierno debido al uso de sistemas de climatización. En resumen, la gráfica proporciona una visión clara de la evolución del consumo de electricidad a lo largo de cinco años lo cual es importante para estudiar y ver claramente todos los cambios año a año.

Con el objetivo de realizar un análisis más detallado del año 2023, se han creado tres mapas de calor utilizando datos de consumo horario recopilados durante una semana representativa de cada uno de los tres meses seleccionados que son los meses con más demanda de climatización al año y que presentan condiciones climáticas variadas.

Un mapa de calor es una representación visual que utiliza colores para mostrar y analizar datos numéricos, resaltando patrones y tendencias, lo que permite identificar los valores más altos y más bajos. En este caso, se utilizarán una escala de tonos azules, oscuros para indicar las horas de mayor demanda y los claros para las horas de menor consumo. Los datos de consumo se presentan en kWh.

Durante el mes de enero, los sistemas de climatización muestran una alta actividad desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde. Este comportamiento puede atribuirse a las bajas temperaturas típicas de la temporada invernal, lo que hace necesario mantener un ambiente cálido y confortable para los ocupantes del centro. El uso intensivo durante estas horas coincide con el horario laboral y las horas de mayor ocupación del edificio.

El análisis del mes de diciembre muestra un comportamiento casi idéntico al de enero, con una alta demanda de climatización desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde también. Al igual que en enero, las bajas temperaturas de diciembre requieren un esfuerzo considerable para mantener un ambiente cálido dentro del centro. Este patrón también coincide con las horas de mayor ocupación del edificio.

En julio, se observa un horario similar de uso intensivo de los sistemas de climatización, nuevamente entre las 6 de la mañana y las 6/7 de la tarde. Sin embargo, en este caso, el objetivo principal es mantener una temperatura fresca en el interior del centro, dado que julio es un mes de verano con altas temperaturas externas. La climatización es crucial para garantizar el confort y la productividad de los ocupantes durante las horas más calurosas del día, permitiendo así que las actividades diarias se realicen sin demasiadas molestias por el clima y asegurando un ambiente de trabajo óptimo.

Como se puede observar, los fines de semana, y en particular los domingos, registran un consumo de energía mucho más bajo debido a la poca o nula ocupación del edificio. Sin embargo, los sábados presentan un consumo apreciable durante las horas de trabajo, lo cual puede atribuirse a la presencia de algunos empleados que utilizan el centro para trabajar o a que algún equipo se ha quedado encendido funcionando. Estas anomalías reducen la eficiencia energética del edificio, lo que implica una oportunidad para mejorar en cuanto al ahorro energético.

Para entender mejor el impacto de los días festivos en el consumo energético, se ha analizado una semana de vacaciones en diciembre, coincidiendo con las celebraciones de Navidad, donde los días 25 y 31 de diciembre muestran un gran descenso en el consumo de energía, que coincide con la baja ocupación del edificio durante las fiestas.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LUNES: 09/01/2023	41	42	41	39	40	41	41	42	38	38	37	37	37	36	35	38	37	41	42	41	42	40	39	41
MARTES: 10/01/2023	41	40	40	39	41	45	72	78	85	94	89	85	82	81	80	82	79	80	81	77	79	71	64	66
MIÉRCOLES: 11/01/2023	64	62	63	60	64	66	88	93	89	89	88	89	87	83	85	83	82	83	81	73	74	69	59	62
JUEVES: 12/01/2023	65	65	65	64	63	69	90	92	88	83	79	72	74	71	74	74	72	74	73	72	69	69	63	61
VIERNES: 13/01/2023	64	61	66	64	66	65	89	94	90	89	88	88	81	82	78	77	77	79	77	68	67	65	60	60
SÁBADO: 14/01/2023	60	59	61	61	59	65	88	88	89	82	86	76	71	74	66	59	59	65	69	62	66	62	55	54
DOMINGO: 15/01/2023	56	55	57	55	56	56	58	55	55	52	48	46	46	42	44	44	45	48	53	56	55	62	64	64

Figura 5: Mapa de calor una semana de enero

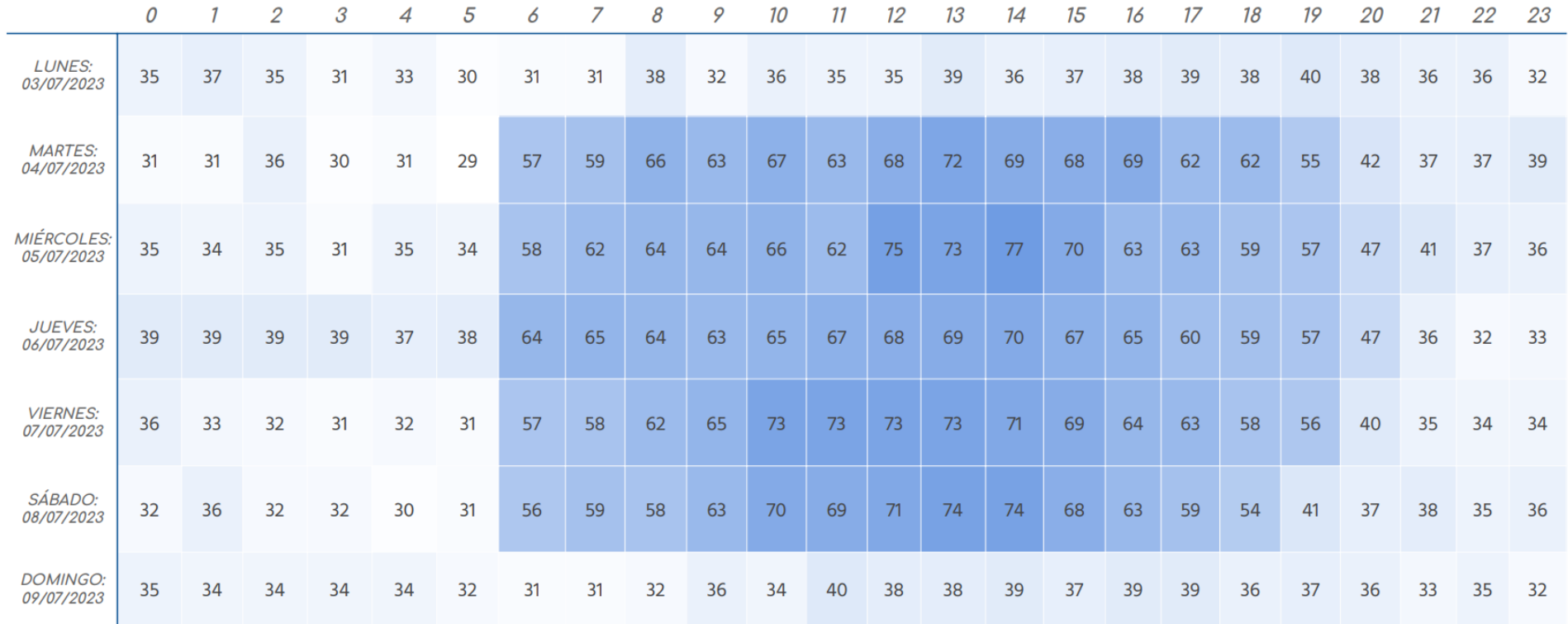


Figura 6: Mapa de calor una semana de julio

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LUNES: 25/12/2023	49	48	48	47	47	49	49	50	47	45	42	41	41	39	40	42	42	45	48	47	47	48	47	40
MARTES: 26/12/2023	49	48	48	47	47	49	49	50	47	45	42	41	41	39	40	42	42	45	48	47	47	48	47	40
MIÉRCOLES: 27/12/2023	56	52	52	52	51	55	76	82	78	78	73	73	70	69	69	70	66	68	66	60	54	49	46	47
JUEVES: 28/12/2023	47	47	46	47	48	50	72	81	77	76	75	71	71	69	68	66	68	68	66	62	55	48	50	49
VIERNES: 29/12/2023	51	48	48	47	49	50	77	83	80	77	73	75	72	69	65	66	68	72	71	67	59	53	51	52
SÁBADO: 30/12/2023	56	53	53	55	53	57	83	87	84	83	77	74	71	68	66	60	59	61	66	61	55	53	53	40
DOMINGO: 31/12/2023	55	52	54	54	52	53	53	52	47	42	40	38	37	34	36	37	38	44	43	45	44	45	44	47

Figura 7: Mapa de calor una semana de diciembre

5. Inventario energético

5.1 Climatización

5.1.1. Generación de calor y frío para climatización

La generación de calor y frío para climatización se realiza a través de una serie de bombas de calor VRV (Variable Refrigerant Volume), que es una tecnología de aire acondicionado que permite variar el flujo de refrigerante a través de múltiples evaporadores conectados a una sola unidad exterior. Esto significa que diferentes áreas de un edificio pueden ser climatizadas de manera independiente, ajustando la cantidad de refrigerante suministrado en función de la demanda térmica de cada zona. En total se dispone de 5 unidades VRV, tres de ellas en tándem, una por cada planta del edificio principal y otra que da servicio a todo el torreón.

Estas distribuyen el aire a las plantas a través de conductos y cassettes repartidos por todas las zonas del edificio y que son controlados a través de un mando de control. Cada mando de control regula varios cassettes o conductos. Esta regulación puede ser manual o automática.

Así, el edificio de oficinas dispone de cuatro unidades VRV con sistema CMB (Centralized Management Board) de distribución, lo cual permite que funcionen en frío o calor al mismo tiempo. En el torreón, se dispone de una unidad a dos tubos, o frío o calor, esto hace difícil el control de la climatización debido a las diferentes demandas climáticas entre las plantas inferiores que, en invierno demandan calor y las plantas superiores que demandan frío.

5.1.2. Unidades terminales

Como unidades terminales del sistema de climatización centralizado el centro cuenta con una dotación de fancoils que se encargan de transmitir la energía proveniente de los sistemas generadores al aire de las estancias interiores del centro. Para garantizar la calidad del aire interior se cuenta con tres recuperadores entálpicos, dos para el edificio principal y uno exclusivo para el torreón.

El sistema de climatización está comandado mediante un sistema de gestión, este sistema permite ajustar los horarios de encendido, así como las temperaturas de consigna para cada uno de los apartados de la climatización.

El edificio cuenta con termostatos los cuales permiten que el usuario pueda cambiar las temperaturas de cada una de las unidades interiores.

Para solventar los problemas en la zona del torreón, el sistema arranca en modo calor en las plantas inferiores manteniendo las unidades terminales de la planta superior paradas, en torno al mediodía, el personal de mantenimiento cambia la consigna a modo frío y apaga las unidades terminales de las plantas inferiores y enciende las de las plantas superiores.

En la Figura 8, podemos ver toda la monitorización del edificio y en qué parte del edificio están colocados los sistemas de gestión de control (marcados con la letra G en la imagen) de unidades terminales.

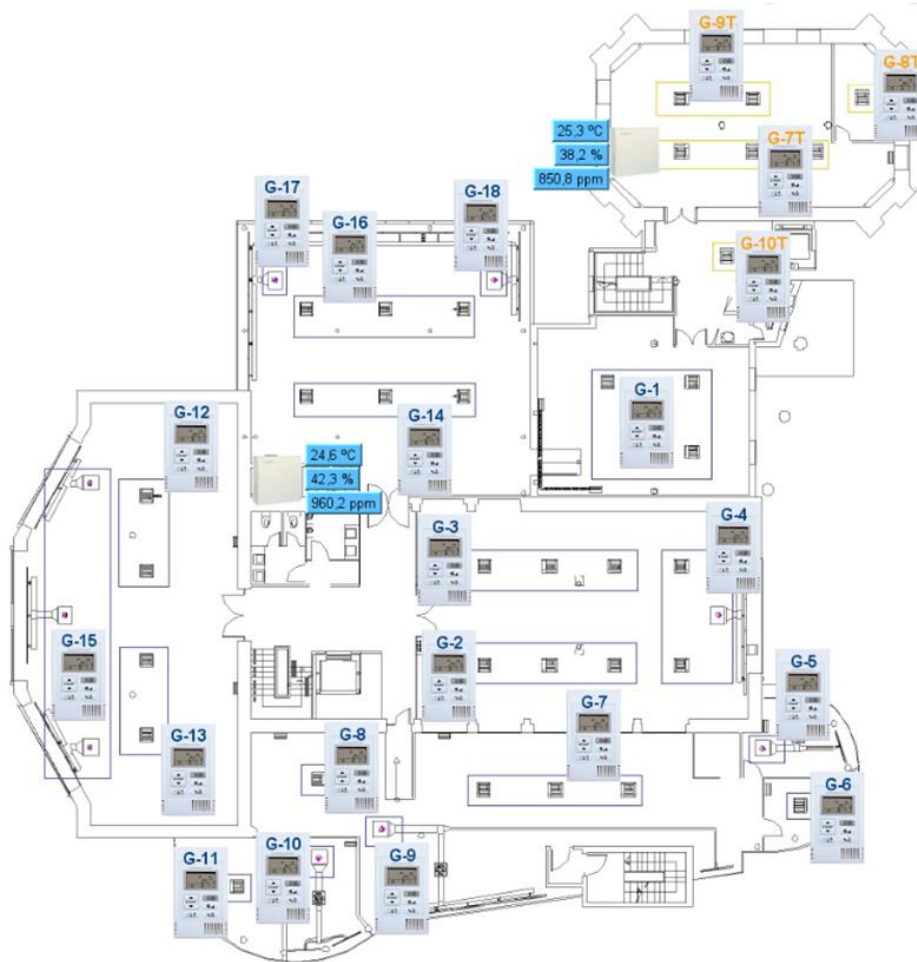


Figura 8: Sistema de gestión del edificio



Figura 9: Sistema de gestión ejemplo unidad interior



Figura 10: Sistema de gestión otro ejemplo unidad interior

En las Figuras 9 y 10 se pueden ver dos ejemplos de unidades interiores que controla el sistema de gestión y qué información se puede ver al utilizarlo.

Los recuperadores entálpicos del edificio principal, como el que aparece en la Figura 11, son de tipo rotativo, una tecnología avanzada que permite una eficiente transferencia de calor y humedad entre las corrientes de aire de entrada y salida. Estos recuperadores están equipados con variadores de frecuencia para sus motores de impulsión y de retorno, lo que les permite ajustar la velocidad y, por lo tanto, la capacidad de recuperación de energía según las necesidades específicas del sistema.

Por otro lado, el recuperador del torreón es de flujo cruzado, un diseño que permite la transferencia de calor entre las corrientes de aire en ángulos perpendiculares. A diferencia de los recuperadores del edificio principal, el sistema del torreón no cuenta con ningún sistema regulador en sus motores, lo que significa que opera a una velocidad constante.

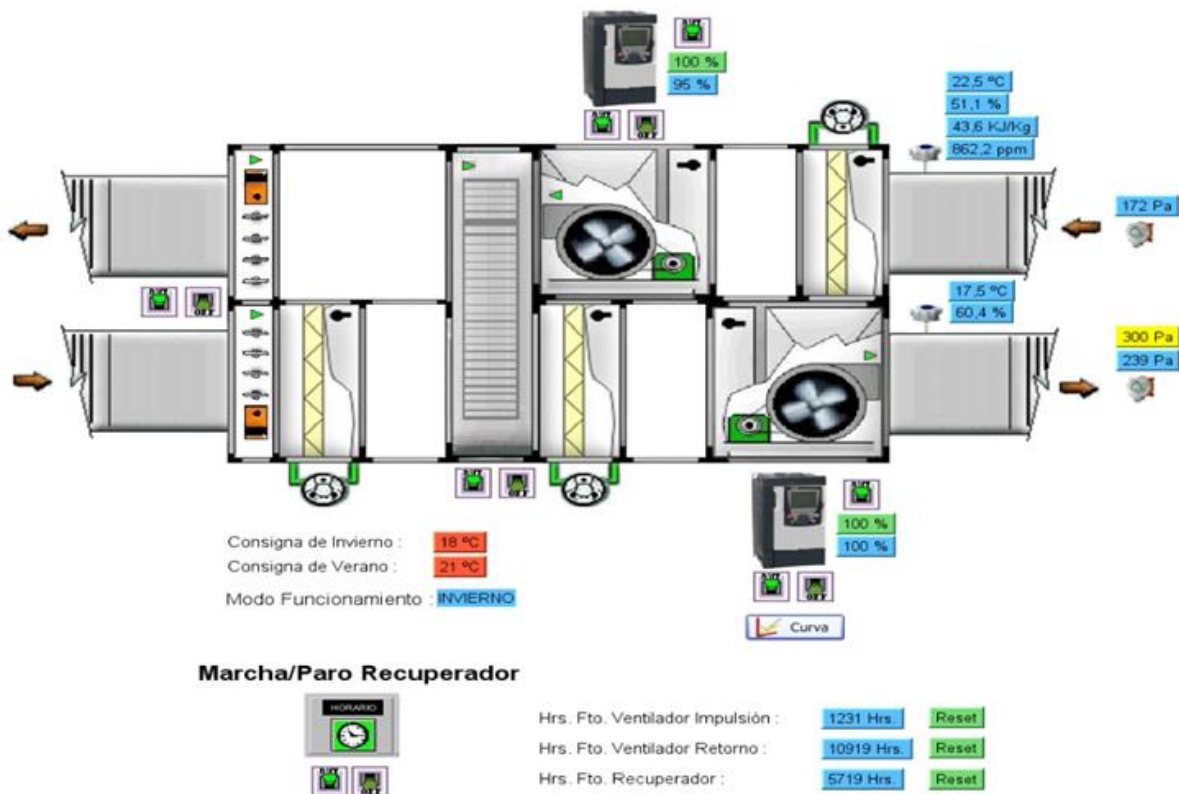


Figura 11: Sistema de gestión ejemplo recuperador

5.2 Iluminación

La tecnología de iluminación con mayor volumen en el centro, como se puede observar en la gráfica de la Figura 12, es la tecnología LED, esta tecnología abarca aproximadamente el 63,5 % de la potencia total instalada para el sistema de iluminación. La segunda tipología con mayor profusión son lámparas de fluorescencia compacta, cuyo peso alcanza aproximadamente el 20,7% de la potencia instalada. Esta tecnología se encuentra instalada tanto en los espacios de trabajo como en las zonas de paso del edificio. En tercer lugar, encontramos fluorescencia lineal T8 con un 6,4% utilizado mayoritariamente en zonas de baños. Se dispone de detección de presencia en la zona del garaje, coworking y escalera zona norte. También cuenta con iluminación crepuscular en el exterior del edificio.

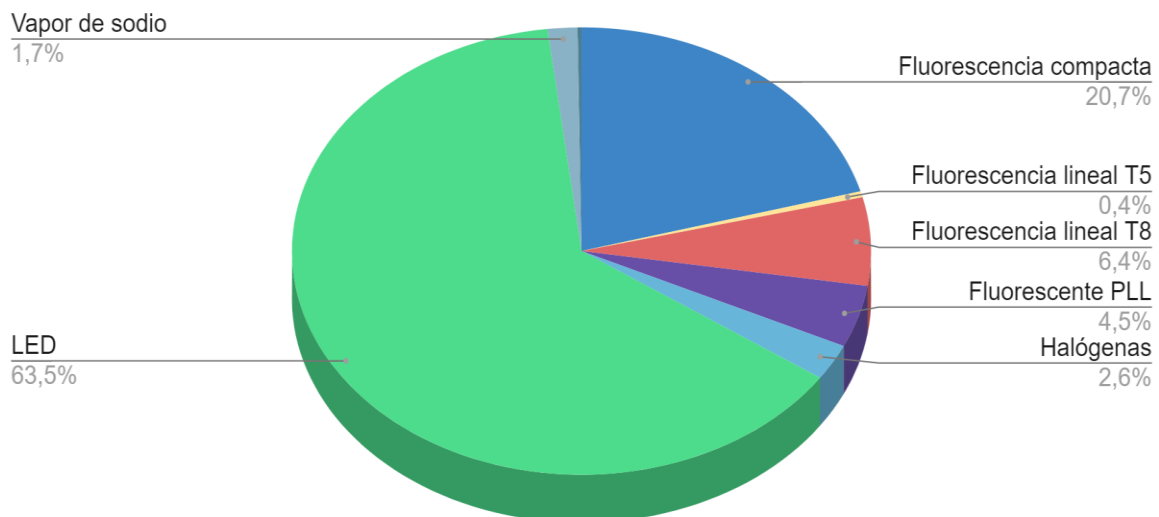


Figura 12: Reparto de potencia instalada tecnología de iluminación

A continuación, se describen las características fundamentales de los diferentes tipos de iluminación que han sido mencionados:

LED: Las siglas LED provienen de las palabras en inglés "Light Emitting Diode". Un diodo es un dispositivo eléctrico que tiene dos terminales y permite que la corriente eléctrica fluya en una sola dirección. La luz se produce debido al movimiento continuo de electrones dentro del semiconductor [11].

Fluorescencia: La fluorescencia absorbe la energía de la luz ultravioleta y, de forma instantánea, emite radiación visible. Funciona mediante la excitación del vapor de mercurio dentro de un tubo alargado, lo que provoca la emisión de luz ultravioleta. Esta luz ultravioleta interactúa con una capa de fósforo en el interior del tubo, causando que el fósforo emita luz visible [12].

Halógenas: La lámpara halógena es una variante de la lámpara incandescente que utiliza un filamento de tungsteno dentro de un tubo de cristal de cuarzo, compuesto por un metal base y un polímero biodegradable y ecológico, situado dentro de un gas inerte con una pequeña cantidad de halógeno, como bromo o yodo. Esta configuración produce una luz clara y nítida, ideal para resaltar áreas específicas de una habitación [13].

Vapor de sodio: Las lámparas de vapor de sodio son un tipo de lámparas de descarga de gas que usan vapor de sodio para producir luz. La luz se produce por la emisión generada cuando los electrones libres chocan con los átomos del gas en el tubo de descarga. Estos choques excitan a los electrones, llevándolos a órbitas de mayor energía. Cuando los electrones regresan a sus órbitas originales, se emiten fotones, lo que resulta en la radiación de la luz [14].

5.3 ACS (Agua Caliente Sanitaria)

Para generar agua caliente sanitaria, el centro cuenta con una dotación de termos eléctricos, en total se dispone de 5 termos, uno para cada planta del edificio principal y otro que da servicio al torreón. El termo eléctrico del torreón es de 75 L mientras que los demás son de 50L.

5.4 Fuerza

5.4.1. Sistemas CPD

Dentro del apartado sistemas se engloban aquellos equipos informáticos que dan servicio a la red ofimática del centro, así, en la planta baja del edificio principal y en la última planta del torreón se cuenta con salas CPD. Solamente se dispone del inventario de equipos de refrigeración, por lo que las potencias de los equipos de CPD y Racks se han obtenido mediante cálculos partiendo de la potencia base en la curva horaria.

5.4.2. Equipos auxiliares de refrigeración

Debido a las necesidades térmicas específicas de los equipos anteriores, estos cuentan con unidades propias de climatización.

5.4.3. Otros consumidores

Además de los sistemas anteriores, en el centro existen otra serie de equipos consumidores, se trata de los equipos típicos de la actividad realizada en el centro, como por ejemplo la dotación ofimática. No se dispone de inventario de dichos equipos ya que están sujetos a la variabilidad de uso que los inquilinos hacen del edificio. Además, dispone de multitud de elementos consumidores empleados en los distintos servicios existentes en él, reprografía, limpieza, seguridad, etc. Estos equipos son empleados en la cotidianeidad del centro y aunque el consumo de cada uno por separado pueda considerarse despreciable, agrupados, suponen un elevado porcentaje en el consumo total del centro.

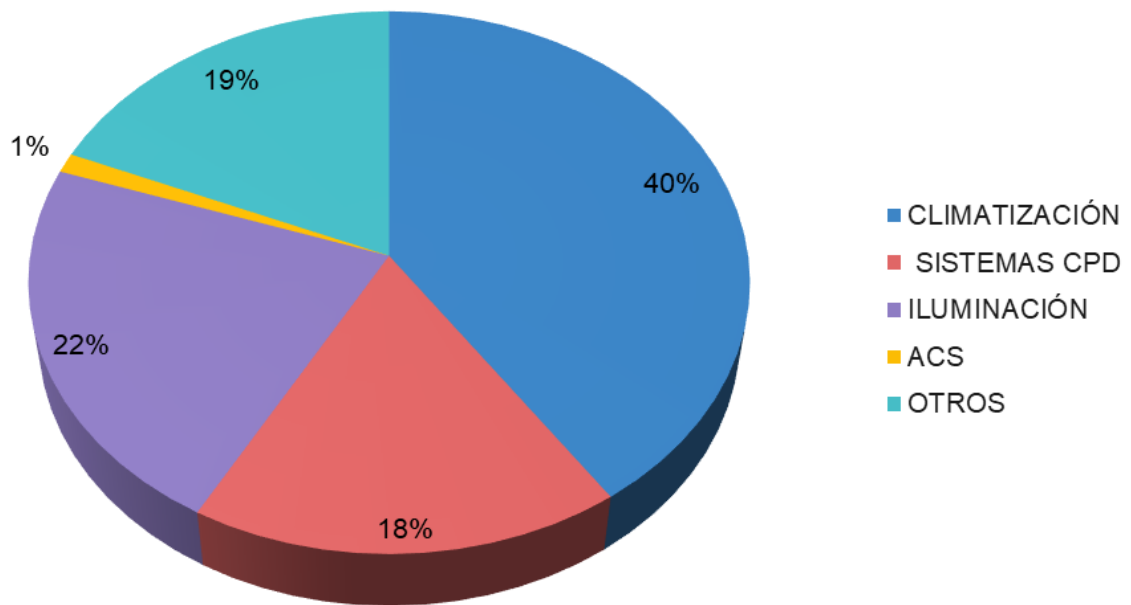


Figura 13: Distribución de energía del edificio por subsistemas

Del análisis del consumo eléctrico por tipo de uso, como se observa en la Figura 13, se puede extraer que la climatización y la iluminación ocupan el mayor porcentaje de consumo total.

El consumo proporcional de iluminación resulta ser ligeramente elevado para un edificio tipo oficina, teniendo una mayoría de luminarias de tecnología LED. Por el contrario, el consumo proporcional de climatización es bajo para este tipo de uso. El edificio de estudio tiene una ocupación singularmente baja, y el uso de la climatización es a demanda, mientras que la iluminación permanece encendida al 100% durante el horario de apertura del centro. Esta diferencia en horas de funcionamiento puede estar afectando a la distribución de consumos del edificio.

6. Indicadores de desempeño energético

Los KPIs (Key Performance Indicators) o “indicadores clave de rendimiento” son aquellos que permiten medir cuantitativamente el comportamiento energético de un edificio o centro. Estos indicadores son fundamentales para identificar áreas dónde se pueden realizar mejoras y ahorros de energía significativos. Mediante un análisis de los KPIs es posible implementar medidas y estrategias que ayuden a reducir el consumo de energía.

Entre los principales indicadores utilizados para este fin se toman los GDC (Grados Día Calefacción) y GDR (Grados Día Refrigeración). Estas unidades de medida adimensional permiten evaluar de manera precisa las necesidades de calefacción y refrigeración del centro. El GDC mide la demanda energética que se necesita para calentar un espacio, mientras que el GDR mide la demanda necesaria para enfriar un espacio.

Tanto uno como otro dan una visión sobre las exigencias térmicas del centro.

- GDC

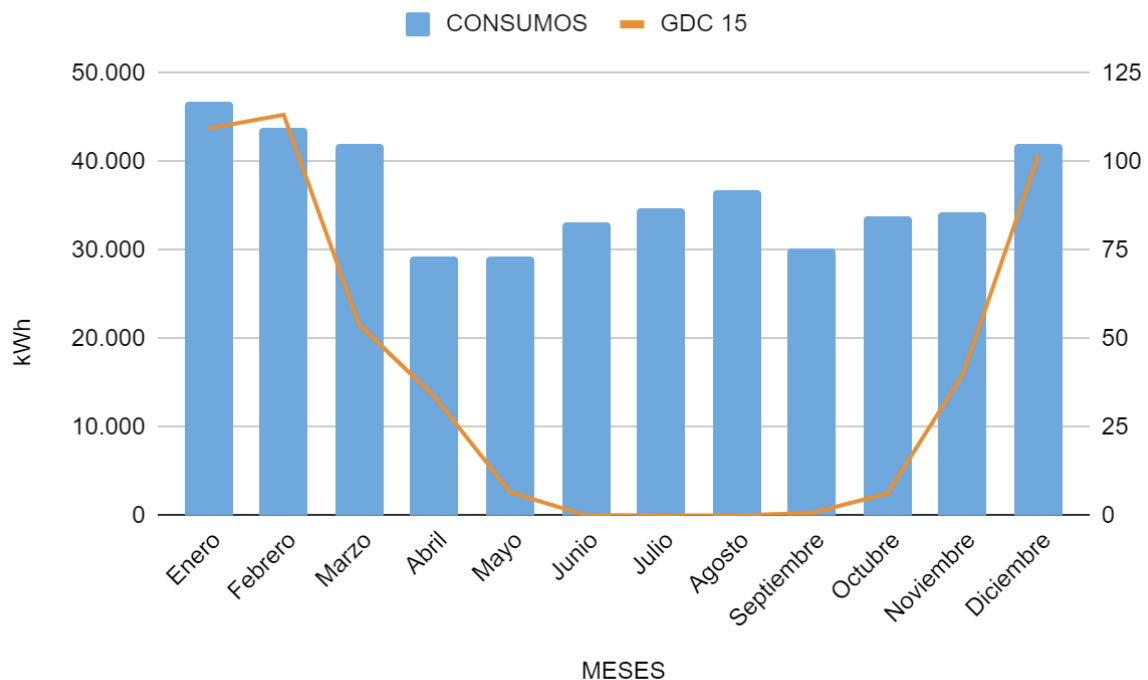


Figura 14: Comparativa de Grado Día Calefacción y consumo eléctrico del 2023

Como podemos observar en la gráfica de la Figura 14, al comparar el Grado Día de Calefacción (GDC) con los consumos energéticos mensuales en kWh a lo largo del año, se evidencia que la demanda de calor es significativamente mayor durante los periodos invernales. Estos periodos invernales corresponden mayoritariamente a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Durante estos meses, el frío es más intenso, lo que incrementa la necesidad de calefacción para mantener una temperatura confortable en el interior del edificio.

Es importante destacar que, independientemente del nivel de ocupación del edificio, la demanda de calor durante estos meses invernales sigue siendo alta. Ya sea que el edificio esté completamente ocupado o tenga una menor afluencia de personas, el sistema de calefacción necesita trabajar a una capacidad considerable para contrarrestar las bajas temperaturas exteriores. Esto se debe a la necesidad constante de mantener un ambiente interior adecuado y confortable para los ocupantes, lo cual implica un mayor consumo energético.

- GDR

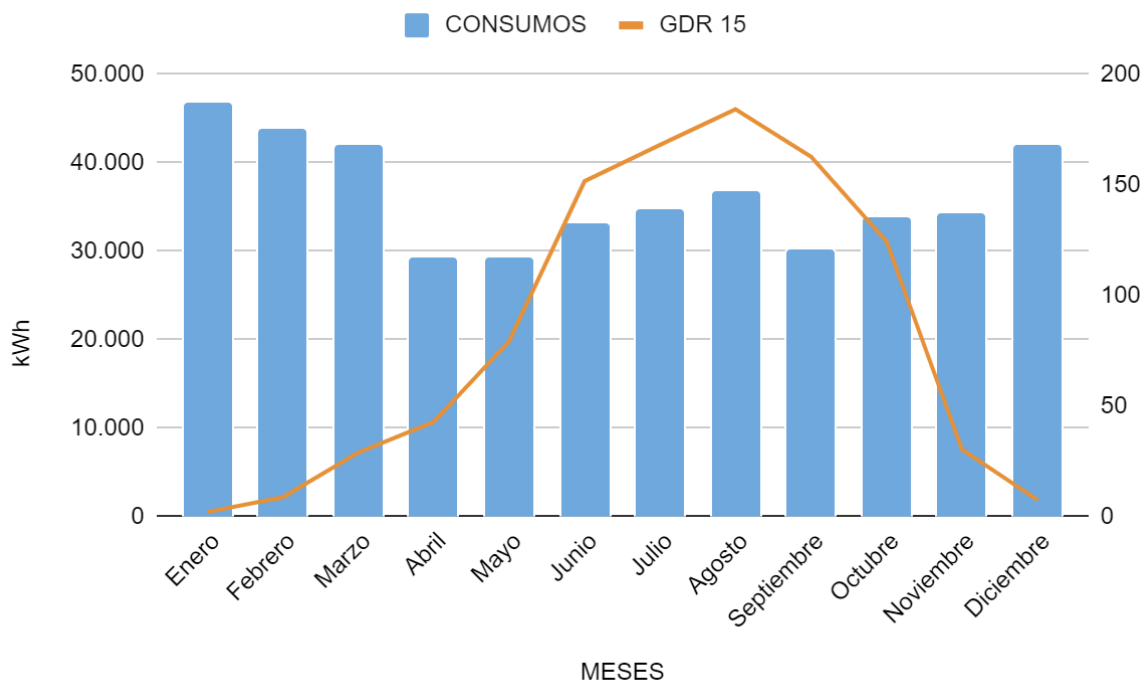


Figura 15: Comparativa de Grado Día Refrigeración y consumo eléctrico del 2023

En cambio, como podemos observar en la Figura 15, al comparar el Grado Día de Refrigeración (GDR) con los consumos energéticos mensuales en kWh a lo largo del año, se puede notar que la demanda de refrigeración es significativamente mayor durante los periodos de verano. Estos periodos corresponden mayoritariamente a los meses de junio, julio, agosto y septiembre, aunque comienzan a subir en el mes de mayo. Durante estos meses, el calor es más intenso, lo que hace necesaria la refrigeración para mantener una temperatura confortable del edificio.

Como ha sido mencionado anteriormente, independientemente del nivel de ocupación del edificio, la demanda de refrigeración durante estos meses de verano sigue siendo elevada. Aunque el edificio esté ocupado completamente o no tenga gran número de personas, la refrigeración necesita funcionar para todos los individuos. Esto se debe a la necesidad de tener un ambiente interior adecuado y confortable para los ocupantes, lo cual hace que haya un mayor consumo energético.

- Consumo línea base - Consumo real

Como resultado del análisis de la información en la implantación de ISO 50001 se define el siguiente indicador de desempeño energético para el periodo a estudio:

Consumo línea base - Consumo real (desde julio de 2023 hasta julio de 2024)

Al calcular este indicador podemos obtener un dato más detallado de la diferencia de consumo que hay entre el consumo real y el consumo de la línea base actualizada, es decir, obtenemos el ahorro de consumo que tenemos actualmente al darnos una diferencia negativa.

El desempeño energético actual emplea una línea base donde se detecta que los indicadores nos permiten evaluar el ahorro real ya que tiene en cuenta variables que afectan directamente sobre el consumo.

Para la realización de la línea base tomamos un total de 16 variables que son las más representativas del edificio. Comenzamos recopilando datos de consumo desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2023. Se utilizan estas fechas para tener unos cálculos medianamente actuales y más precisos.

Elaboramos una lista con las fechas desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del 2023 como hemos mencionado y, en Excel, llevamos a cabo una serie de regresiones utilizando los Grados Día de Calefacción (GDC) y los Grados Día de Refrigeración (GDR). Estos cálculos se realizaron variando los umbrales de temperatura entre 8°C y 15°C para determinar cuál proporcionaba la mejor correlación con el consumo energético. Finalmente, descubrimos que el umbral de 15°C ofrecía la mejor correlación tanto para el GDC como para el GDR.

Tras tener nuestro valor de GDR Y GDC procedemos a introducir todas las fechas del año nuevamente en nuestra hoja de cálculo y empezamos a añadir en cada columna nuestras variables, en este caso, nuestro GDC y GDR ya elegido, los días del año que son laborables o no laborables y los días que son viernes ya que el horario es distinto.

Además, añadimos como variables los 12 meses del año lo cual nos permite mejorar la precisión de nuestra regresión y correlación, ya que consideramos las variaciones estacionales en el consumo energético. Al integrar todas estas variables, conseguimos un análisis mucho más detallado y exacto del comportamiento energético del edificio.

Por lo tanto, cuando tenemos todas nuestras variables completas, elaboramos mediante métodos estadísticos una ecuación que relaciona el consumo de energía con las variables mencionadas con las que se garantiza que la ecuación de regresión será precisa y refleja las condiciones operativas y ambientales que impactan el consumo de energía del edificio.

En la tabla 2 podemos ver un resumen de todas las variables que se tomaron para sacar esta ecuación:

Tabla 2: Variables a utilizar en la línea base

	Intercepción
X1	GDC15
X2	Laborable / No laborable
X3	Viernes
X4	GDR15
X5	ENERO
X6	FEBRERO
X7	MARZO
X8	ABRIL
X9	MAYO
X10	JUNIO
X11	JULIO
X12	AGOSTO
X13	SEPTIEMBRE
X14	OCTUBRE
X15	NOVIEMBRE
X16	DICIEMBRE

Esta última regresión nos da cada uno de los coeficientes que se multiplican a cada una de las variables y con la que tenemos la ecuación.

La ecuación resultante obtenida que mejor relaciona el consumo de energía con las variables enumeradas en la tabla anterior fue la siguiente:

$$Y = 1001,12 + 62,09 \cdot X_1 + 445,13 \cdot X_2 - 68,58 \cdot X_3 + 14,61 \cdot X_4 + 13,5 \cdot X_5 - 56,03 \cdot X_7 - 399,85 \cdot X_8 - 398,83 \cdot X_9 - 288,65 \cdot X_{10} - 240,98 \cdot X_{11} - 205,3 \cdot X_{12} - 389,42 \cdot X_{13} - 289,57 \cdot X_{14} - 237,66 \cdot X_{15} - 117,04 \cdot X_{16}$$

Con un coeficiente de determinación o correlación de **R² de 0,8474**

Los valores del coeficiente de correlación van de -1 a 1:

- 1 indica una correlación positiva perfecta.
- 0 indica que no hay correlación.
- -1 indica una correlación negativa perfecta.

Generalmente, se consideran los siguientes rangos para evaluar la fuerza de la correlación:

- 0,0 a 0,3: correlación débil.
- 0,3 a 0,7: correlación moderada.
- 0,7 a 1,0: correlación fuerte.

Por lo tanto, un valor de 0,8474 cae dentro del rango de una correlación fuerte.

La correlación de 0,8474 entre las variables indica una fuerte relación positiva. Aunque no alcanza el valor perfecto de 1, es suficiente para concluir que existe una correlación significativa entre las variables estudiadas.

Siendo:

X₁: Es la variable de más peso: GDC 15° (Grado Día Calefacción 15°).

X₂: Discriminación entre día laborable o festivo, puesto que las horas de funcionamiento varían mucho.

X₃: Los días que son viernes porque por lo general los viernes la gente se va antes, por lo tanto, el horario es distinto.

X₄: Es la variable: GDR 15° (Grado Día Refrigeración 15°).

X₅...X₁₆: Variable binaria que permite ajustar el modelo de consumo a cada mes del año.

Análisis del indicador de desempeño energético:

Para realizar el análisis de desempeño, se compara el valor de consumo obtenido mediante el modelo anterior con el consumo real registrado. La diferencia entre estos valores se interpreta como ahorro o sobreconsumo, dependiendo de dicha diferencia. En este análisis, se ha tomado que un valor negativo indica un ahorro, mientras que un valor positivo representa un sobreconsumo.

Este enfoque permite evaluar la eficiencia energética y determinar si las medidas implementadas han resultado en una reducción efectiva del consumo energético. Al comparar el consumo modelado con el consumo real, se pueden identificar desviaciones y explorar las posibles causas de estas diferencias.

A continuación, se muestra el resultado del indicador de desempeño energético basado en el análisis de datos recopilados desde julio de 2023 hasta julio de 2024:

Tabla 3: Resultado del indicador de desempeño energético

CONSUMO REAL (kWh)	LB ACTUALIZADA (kWh)	CONSUMO REAL - LB ACTUALIZADA (kWh)
400816	446737	-45921

Por lo tanto, la diferencia del indicador de desempeño energético ha resultado negativa, lo que indica que se ha logrado un ahorro significativo en el consumo energético durante el periodo analizado. El hecho de que el indicador sea negativo significa que el consumo real ha sido consistentemente menor que el consumo modelado, demostrando una utilización más eficiente de los recursos energéticos. Este resultado no solo es favorable desde una perspectiva económica, sino también desde una perspectiva ambiental generando ahorros importantes y posicionando al centro en el camino correcto hacia una mayor eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

Se muestra a continuación el indicador de desempeño energético mensual para el año 2023 (Tabla 4):

Tabla 4: Resultado línea base 2023

	Consumo LB 2023 (kWh)	Consumo real 2023 (kWh)	AHORRO = Consumo real 2023 - Consumo LB 2023	AHORRO sobre el consumo real %
Enero	47349,91	46817	-532,91	-1,14%
Febrero	43819	43819	0	0,00%
Marzo	42968,26	42078	-890,26	-2,12%
Abril	28485,74	29376	890,26	3,03%
Mayo	29312	29312	0	0,00%
Junio	33044	33044	0	0,00%
Julio	34652	34652	0	0,00%
Agosto	36883	36883	0	0,00%
Septiembre	29778,33	30197	418,67	1,39%
Octubre	33334,57	33758	423,43	1,25%
Noviembre	34902,92	34371	-531,92	-1,55%
Diciembre	41513,87	41959	445,13	1,06%
Total generado	436043,60	436266	222,40	0,05%

Se muestra a continuación el indicador de desempeño energético mensual para el año 2024 (Tabla 5):

Tabla 5: Resultado de comparar consumo 2024 con línea base

	Consumo LB 2024 (kWh)	Consumo real 2024 (kWh)	AHORRO = Consumo real 2024 - Consumo LB 2024	AHORRO sobre el consumo real %
Enero	47345,92	45348	-1997,92	-4,41%
Febrero	42673,97	27947	-14726,97	-52,70%
Marzo	43822,48	37301	-6528,20	-17,48%
Abril	30958,25	26531	-4427,25	-16,69%
Mayo	29975,85	29479	-496,85	-1,69%
Junio	40895,41	22390	-18505,41	-82,65%
Total generado	235671,89	188996	-46682,61	-24,70%

Para evaluar la eficiencia energética del año 2024, hemos comparado el consumo real de energía con las previsiones establecidas por el modelo de referencia. Esta comparación nos permite identificar el ahorro energético obtenido o cualquier sobreconsumo que haya ocurrido. A continuación, se detalla el análisis mensual de consumo y ahorro:

- **Febrero 2024:** Se observa una gran disminución en el consumo de energía en comparación con las previsiones. Esta reducción se debe a una avería significativa en el sistema de climatización, que dejó la planta baja sin calefacción ni aire acondicionado y con el alumbrado funcionando solo parcialmente. Como resultado, el consumo total de energía fue mucho menor de lo previsto para este mes.
- **Marzo 2024:** Los datos disponibles para marzo se limitan a las facturas, ya que no se dispuso de información del contador para este mes. Por lo tanto, no podemos realizar un análisis detallado del consumo y ahorro para este periodo.
- **Abril 2024:** En abril, se observa que el consumo diario mínimo, registrado durante los fines de semana, es más bajo en comparación con el año de referencia, 2023. Esto indica una disminución en el consumo previsto para este mes. Esta mejora también está asociada al cambio de algunas luminarias que han fallado y han sido sustituidas por tecnología LED. Este cambio ha reducido significativamente el consumo de energía asociado con la iluminación.
- **Enero y mayo 2024:** En estos meses, el consumo real y el previsto son muy similares. Esto sugiere que no se han observado desviaciones significativas en el consumo energético durante estos meses.
- **Junio 2024:** En junio, se ha registrado un ahorro energético excepcionalmente alto en comparación con las previsiones. Este ahorro puede atribuirse a varias posibles razones. En primer lugar, durante los meses más cálidos, el uso de sistemas de climatización puede ser más eficiente debido a un mejor ajuste de las temperaturas y una posible reducción en el uso de aire frío gracias a las condiciones climáticas favorables. El centro está ubicado en Galicia y al ser el norte, este verano no ha sido necesaria la utilización del aire frío en exceso. Además, este mes la ocupación del edificio ha disminuido en gran volumen, por lo tanto, los sistemas de climatización no han sido encendidos la mayoría de los días.

Todas estas estrategias han llevado a un ahorro energético notable y superior al previsto para este mes. La optimización en el uso de la climatización, ajustada a las condiciones específicas del verano, junto con la mejora en la eficiencia energética a través de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión más efectivas, ha producido una reducción del consumo energético mucho mayor de lo esperado.

En resumen, a lo largo del año 2024, se han observado variaciones en el consumo energético que reflejan tanto eventos imprevistos como los beneficios de las mejoras implementadas. El mes de junio destaca por un ahorro energético excepcional, lo cual subraya su impacto positivo en la reducción del consumo. Esta información es valiosa para ajustar futuras previsiones y seguir mejorando la gestión energética en el edificio.

7. Previsión de consumo

Para obtener un análisis detallado del consumo energético del edificio y evaluar si el ahorro logrado hasta ahora se mantiene o si es necesario implementar nuevas medidas de ahorro, se realizará una previsión para la segunda mitad del año 2024, asumiendo que las condiciones actuales se mantendrán sin cambios.

El proceso comienza con una regresión estadística basada en los datos de la primera mitad del año 2024, utilizando variables clave como GDC, GDR, explicados anteriormente, y otros factores como los días laborables, no laborables y los viernes debido a la diferencia de horario.

Esta regresión nos proporciona coeficientes que se multiplican por cada variable y que indican cómo cada variable afecta al consumo total de energía.

En la Tabla 6, se pueden ver los coeficientes que salen tras la regresión y que se van a utilizar para la previsión:

Tabla 6: Variables utilizadas para la previsión

	Coeficientes
Intercepción	713,7296056
X ₁ : LABORABLE / NO LABORABLE	367,9721816
X ₂ : VIERNES	-76,72438038
X ₃ : GDR15	-38,59040995
X ₄ : GDC 15	70,83755681

Por lo tanto, la ecuación resultante es:

$$Y = 713,7296056 + 367,9721816 \cdot X_1 - 76,72438038 \cdot X_2 - 38,59040995 \cdot X_3 + 70,83755681 \cdot X_4$$

Una vez obtenidos estos coeficientes se aplican a las variables correspondientes para la segunda mitad del año, multiplicando cada coeficiente por los valores previstos de las variables para los próximos meses.

Además, se hace una columna de ajuste, que es el porcentaje por el que se multiplicará el consumo previsto para la segunda mitad del año. Este ajuste se estudia mirando el año anterior en esta segunda mitad del año y comparando en qué meses o semanas el consumo es significativamente más bajo de lo normal. Por ejemplo, en el mes de agosto el consumo es un 15 % menos a los demás meses, por lo tanto, multiplicamos los días laborables por el 85% que se utiliza de consumo. Pasa lo mismo la última semana de diciembre, quitando los días de fiesta, los días laborables de la última semana del año el consumo previsto se ajusta con un 90%.

Con esta previsión, se podrá determinar si el ahorro energético sigue siendo significativo o si se requieren ajustes en las estrategias de ahorro. Si se observa que el ahorro se está reduciendo o que el consumo se aproxima a niveles anteriores, será necesario considerar nuevas medidas para mejorar la eficiencia energética.

En la Tabla 7, se pueden ver los consumos previstos calculados:

Tabla 7: Previsión de consumo de la segunda mitad del año 2024

	Previsión de la segunda mitad del año 2024 (kWh)
Julio	41824
Agosto	37847
Septiembre	39964
Octubre	38856
Noviembre	29358
Diciembre	23748
Total mitad año previsión	211597

Por último, se necesita comparar los consumos del año 2023 a nuestra previsión para ver si es necesario añadir medidas de ahorro energético. Por lo que en la Tabla 8 podemos ver los consumos de diferentes años y meses.

Tabla 8: Comparativa consumos 2023 y previsión 2024

	Consumo 2023 (kWh)	Previsión consumo 2024 (kWh)
Julio	34652	41824
Agosto	36883	37847
Septiembre	30197	39964
Octubre	33758	38856
Noviembre	34371	29358
Diciembre	41959	23748

En el análisis de las previsiones de consumo se ha observado que, en general, el consumo proyectado es mayor en comparación con el año 2023, con excepción de dos meses específicos: noviembre y diciembre. Esto puede atribuirse a varios factores que deben considerarse para entender la causa del aumento y planificar adecuadamente las medidas de ahorro.

Primero, es importante evaluar si el aumento en el consumo previsto para 2024 se debe a un incremento en la demanda energética, cambios en las condiciones operativas del edificio, o ajustes en el uso de equipos y sistemas. Este incremento puede ser resultado de factores como una mayor ocupación del edificio, cambios en el horario de funcionamiento, o una posible ineficiencia en los sistemas de climatización o iluminación.

Pero al ser una previsión, ninguno de estos factores se puede saber a día de hoy, lo que sí se puede ver con las previsiones sacadas es que el centro necesita una mejora futura y unas medidas de ahorro energético para conseguir bajar esos consumos. Estas medidas permitirán controlar mejor el consumo energético y mantener un ahorro significativo. La implementación de estas medidas contribuirá a mejorar la eficiencia energética del edificio y a reducir los costos y asegurando que se alcancen los objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

8. Medidas de ahorro energético

Las medidas de ahorro energético (MAES) son medidas esenciales para poder tener el planeta más limpio. Se tratan de medidas de racionalización y optimización de los recursos energéticos que tenemos a nuestra disposición para poder utilizarlos permitiendo un uso eficiente.

El ahorro o eficiencia energética implica utilizar la energía más eficiente y efectiva, es decir, con la misma cantidad de energía o incluso menos, poder tener los mismos resultados y, además, seguir obteniendo un confort para todas las personas del edificio.

Las MAES no son solo una estrategia de ahorro económico y cuidado ambiental, sino que también cuentan con el apoyo institucional necesario para ser implantadas por ser críticas para nuestra sostenibilidad y en muchos casos son propuestas por las autoridades. La Unión Europea tiene como objetivo reducir el consumo de energía primaria en un 42,5% para 2030, tomando como referencia el año 2007.

En España, se han adoptado numerosas medidas en los espacios administrativos para reducir el consumo de energía, y estas acciones se han extendido a servicios privados como grandes almacenes y centros comerciales. El IDAE, Instituto para la diversificación y el ahorro de energía, es el organismo encargado de implementar y asesorar sobre estas medidas en diversos sectores, incluyendo la industria, los servicios públicos, el transporte, las grandes superficies, las empresas proveedoras de energía, y la iluminación en hogares y lugares de trabajo [15].

Estas medidas de ahorro no se aplican a todos los sectores por igual. Las medidas que adopta un gran negocio o una empresa son muy distintas. Todas estas deben tener una involucración importante de las personas que hacen uso de las energías, la incorporación de nuevos equipos, la automatización de medidas y la optimización de los horarios en los que se utiliza cada equipo.

A continuación, se ofrecen algunas medidas de ahorro que serán útiles y ayudarán a controlar y bajar los consumos del centro:

8.1 Medida propuesta 1: Instalación de módulo free-cooling en la sala CPD

Situación inicial

La medida se quiere implantar en la sala del CPD que alberga los racks de comunicaciones y servidores de la red ofimática del centro.

Debido a sus necesidades térmicas específicas, estos cuentan con unidades autónomas ya que necesitan tener una continua refrigeración debido a todo el calor que desprenden estos equipos.

Descripción de la medida

El free-cooling es una técnica que permite la entrada de aire exterior en un edificio a través de medios mecánicos y controlados. Aunque esto implica la instalación de nuevos equipos consumidores, como ventiladores y compuertas, resulta ser una manera de refrigerar los espacios deseados a un coste prácticamente nulo. Esta técnica no solo reduce significativamente el consumo de energía, sino que también asegura que el aire exterior se distribuya de manera homogénea y precisa por todo el espacio objetivo. De esta forma, se garantiza un enfriamiento eficiente y controlado, optimizando tanto el confort como la eficiencia energética del edificio [16].

La propuesta se basa en el aprovechamiento de las condiciones climáticas exteriores en invierno para refrigerar la estancia del CPD mediante la instalación de un módulo *free-cooling* acoplado en cubierta del torreón.

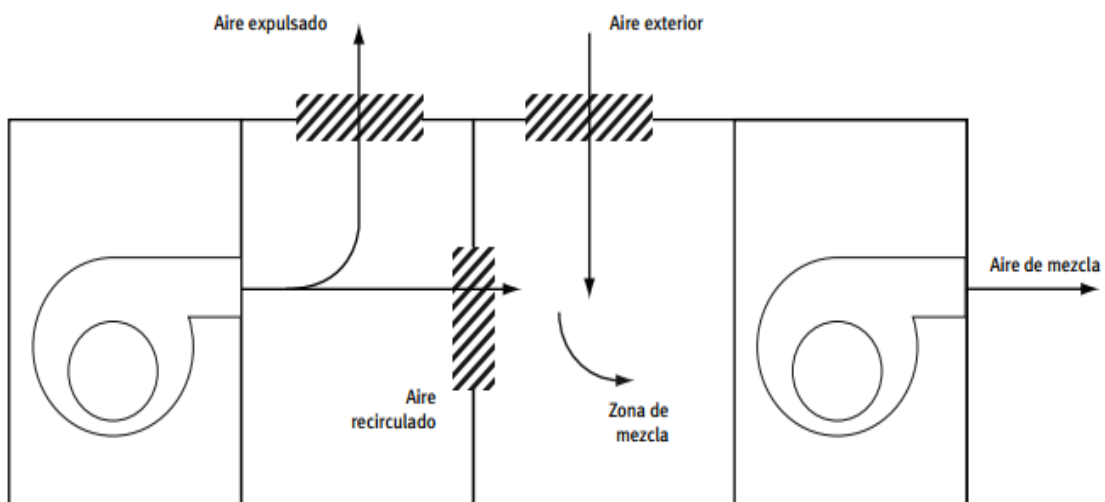


Figura 16: Esquema de funcionamiento de free-cooling

El funcionamiento del sistema free-cooling se basa en la introducción de aire exterior a bajas temperaturas hacia el interior de la sala CPD, de modo que la renovación se efectúe a temperaturas menores que la del interior del espacio a refrigerar.

De modo que el sistema free-cooling permite aprovechar la baja entalpía del aire cuando las condiciones exteriores son favorables para disminuir el uso de los equipos de refrigeración.

Para aplicar la medida de ahorro energético propuesta en la sala CPD del centro, es necesario que el aire exterior se mantenga por debajo de los 9°C aproximadamente.

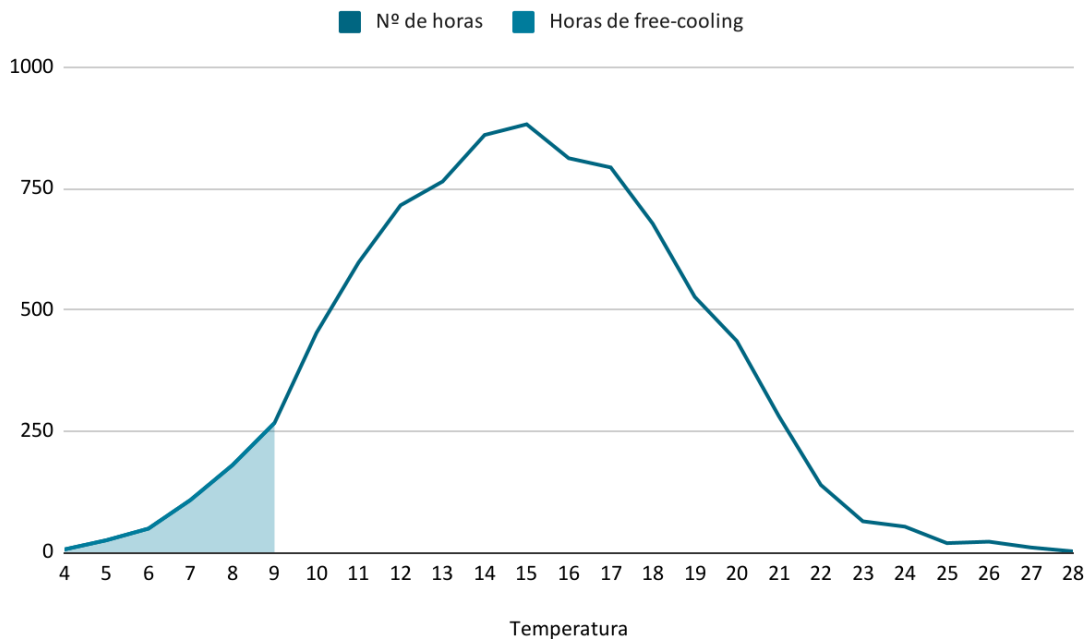


Figura 17: Horas de aprovechamiento de un free-cooling

En Galicia el clima es favorable a alcanzar estas temperaturas habitualmente durante el periodo invernal, y durante las noches en el periodo entre estaciones. No obstante, se ha de prestar especial atención a la humedad ambiente, ya que los CPD necesitan condiciones de humedad muy baja o nula para el mantenimiento de los equipos de telecomunicaciones.

A modo de resumen, las principales ventajas que tiene la instalación de un sistema free-cooling para la refrigeración del CPD son las siguientes:

- Disminución de la necesidad de refrigeración, e incluso eliminación de la misma durante las noches o en días con temperaturas muy bajas.
- Reducción de emisiones de CO₂ gracias a la disminución del consumo energético.
- Variedad de opciones en sistemas manuales o automatizados de compuertas para los módulos de free-cooling, adaptables a las necesidades del centro.
- Permite aprovechar el sistema de distribución por rejillas existente y realizar una distribución homogénea del aire exterior como parte de un sistema de climatización.
- Reducción de los costos de la factura eléctrica debido a un menor consumo de energía.

Situación futura

La implementación de esta medida conllevaría una disminución en las horas y la intensidad de uso de la máquina autónoma de refrigeración instalada en la sala CPD del torreón. El flujo de aire primario podría ajustarse mediante las compuertas del módulo de free-cooling, aumentando el caudal cuando la temperatura exterior sea inferior a unos 9°C. Los ahorros se obtendrían de la menor necesidad de refrigeración. Además, un uso menos intensivo de la máquina de refrigeración prolongaría su vida útil, lo que resultaría en ahorros adicionales en costos de mantenimiento.

8.2 Medida propuesta 2: Instalación de control del alumbrado mediante detectores de presencia.

Situación actual

El edificio cuenta con interruptores manuales en gran parte del edificio, aunque se dispone de detección de presencia en la zona del garaje, coworking y escalera.

Los detectores de presencia permiten identificar movimientos en una zona específica utilizando un sensor. Este sistema ayuda a reducir las horas de iluminación del lugar en momentos en los que no hay ocupación.

Descripción de la medida

En la gran mayoría de los casos, los detectores de presencia funcionan utilizando radiación infrarroja denominados PIR (Passive Infrared), para detectar el movimiento de personas en un área específica. El detector mide la temperatura ambiente y detecta cambios bruscos provocados por la presencia de un cuerpo más caliente, como el de una persona. El área de detección puede cubrir más de 200 m² y se define a partir de dos parámetros:

- La distancia de detección, que varía según el modelo, con un rango de 0 a 30 metros.
- El ángulo de detección, que generalmente varía entre 100° y 200°, aunque existen detectores de 360° que cubren todo el espacio alrededor.

La instalación de los detectores ayudaría a disminuir las horas de funcionamiento de las luminarias en horarios de almuerzo y comidas, así como en periodo nocturno en el caso de los aparcamientos.

Situación futura

Con esta medida se logra una disminución del consumo genérico del 30%, en las zonas internas del edificio.

En algunas ubicaciones como las zonas técnicas donde el equipo de mantenimiento solo entra una vez al día para realizar la toma de datos, se ha optado por reducir solo 1 hora su uso.

8.3 Medida propuesta 3: Sustitución del sistema de iluminación por tecnología LED.

Situación actual

Como se ha mencionado anteriormente, la tecnología de iluminación con mayor volumen en el centro es la tecnología LED, que abarca aproximadamente el 63,5 % de la potencia total instalada para el sistema de iluminación. El segundo tipo con mayor profusión son lámparas de fluorescencia compacta, cuyo peso alcanza aproximadamente el 20,7% de la potencia instalada. En tercer lugar, encontramos fluorescencia lineal T8 con un 6,4%.

Descripción de la medida

Se propone la sustitución del sistema de iluminación actual por un sistema basado en tecnología LED que necesitan un menor consumo para su funcionamiento. Los cambios a efectuar son los siguientes:

- 4x18 W (Fluorescencia lineal T8)* → 36 W (Pantalla de LED)
- 2x26 W (Fluorescencia compacta)* → 22 W (Pantalla de LED)
- 2x36 W (Fluorescencia P.L.L.)* → 45 W (Pantalla de LED)
- 1x28 W (Fluorescencia compacta)* → 24 W (Pantalla de LED)
- 1x50 W (Halógenos) → 5 W (Pantalla de LED)
- 1x60 W (Halógenos) → 5 W (Pantalla de LED)
- 2x18 W (Fluorescencia compacta)* → 24 W (Pantalla de LED)
- 2x28 W (Fluorescencia compacta)* → 24 W (Pantalla de LED)
- 1x36 W (Fluorescencia lineal T8)* → 16,2 W (Pantalla de LED)
- 250 W (Vapor de mercurio) → 150 W (Pantalla de LED)
- 150 W (Vapor de sodio) → 100 W (Pantalla de LED)
- 220 W (Vapor de sodio) → 150 W (Pantalla de LED)

*Sin considerar equipo de arranque.

La tecnología LED se basa en el principio de la electroluminiscencia, que ocurre cuando los electrones en un material conductor se mueven de la banda de conducción a la de valencia al recibir una corriente eléctrica. Este movimiento de electrones libera energía en forma de fotones, es decir, luz.

La luz emitida por la electroluminiscencia abarca principalmente las longitudes de onda azul y amarilla, que tienen baja energía en comparación con la luz de las bombillas incandescentes. Las lámparas incandescentes necesitan calentar sus filamentos para producir luz, lo que genera una gran cantidad de energía infrarroja y, por tanto, más calor. En cambio, la tecnología LED es más eficiente porque puede producir la misma cantidad de luz utilizando menos energía, evitando así la pérdida significativa de energía en forma de calor.

En la Figura 18 se pueden ver los diferentes espectros de onda para cada tipo de iluminación [17]:

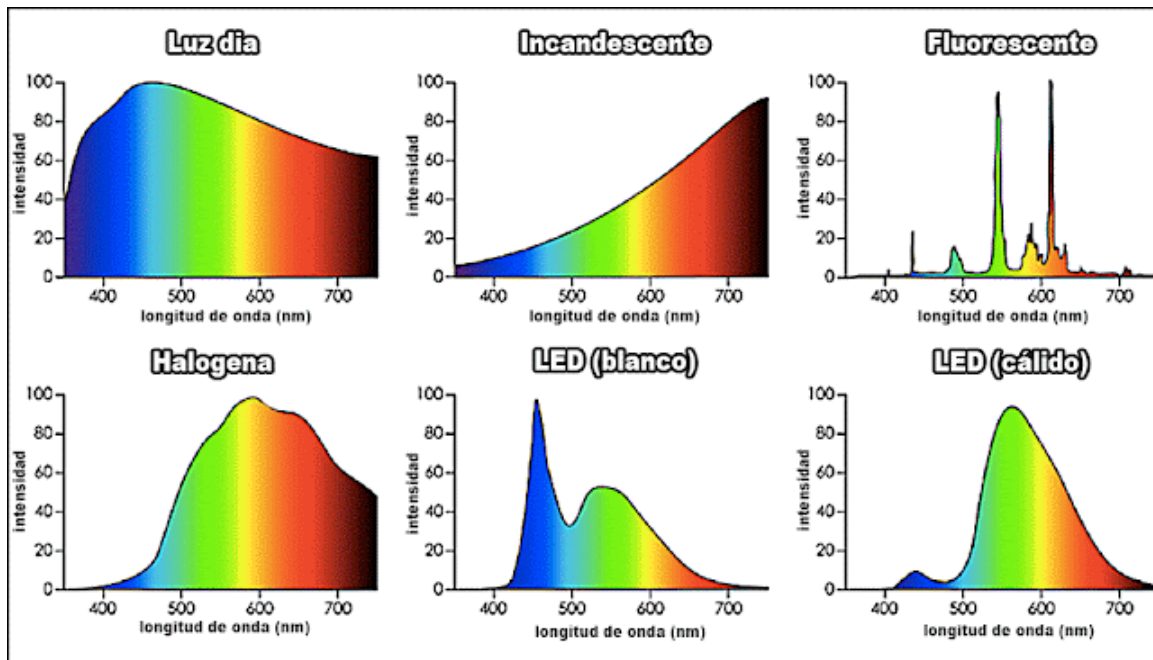


Figura 18: Espectros de onda por tipo de iluminación.

FUENTE: Luis Gonzaga

Por otra parte, al observar la durabilidad de las luminarias, se ha demostrado que la tecnología LED ofrece una calidad de iluminación superior a lo largo del tiempo. Esto no solo se traduce en un rendimiento más consistente y duradero, sino también en una menor necesidad de mantenimiento y reemplazo de las luminarias.

Esta ventaja implica una reducción en los costos operativos y en las interrupciones del servicio, beneficiando tanto a usuarios domésticos como a instalaciones comerciales e industriales.

En resumen, las luminarias LED no solo destacan por su eficiencia luminosa, sino también por su longevidad y fiabilidad en el tiempo.

En la Figura 19, se muestra una curva comparativa de la depreciación entre las diferentes tecnologías de iluminación disponibles:

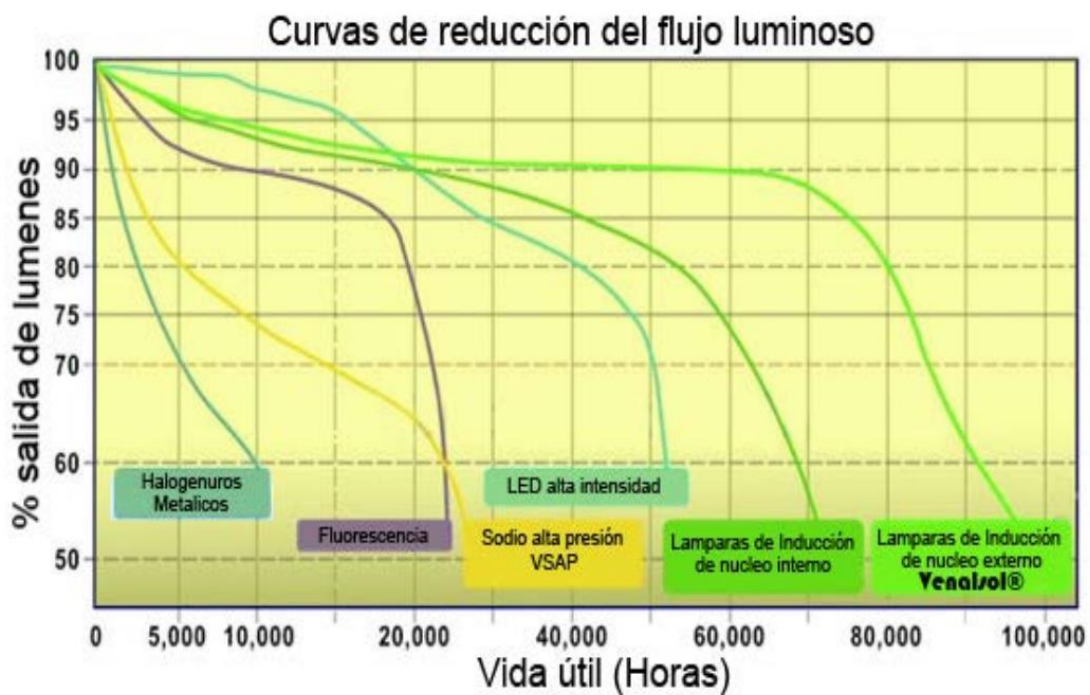


Figura 19: Curvas de reducción de flujo luminoso por tipo de iluminación

La curva ilustra la disminución en el porcentaje de lúmenes emitidos por las distintas tecnologías de iluminación a lo largo de su vida útil.

Las lámparas incandescentes duran apenas 1000 horas; las halógenas entre 2000 y 4000 horas, los fluorescentes y lámparas de bajo consumo entre 5000 y 8000. Las lámparas de LED tienen una vida útil de unas 50000 horas, sin importar cuántas veces las enciendas y apagues o cuánto tiempo las dejes funcionando. Esto supone no tener que preocuparse por la bombilla durante al menos 10 años [18].

Además, al examinar la gráfica, se nota que la curva de la tecnología de fluorescencia desciende bruscamente al término de su vida útil. Por el contrario, la caída es menos pronunciada en el caso de la iluminación LED.

La siguiente gráfica (Figura 20) presenta una comparación de la eficiencia luminosa según el tipo de lámparas:

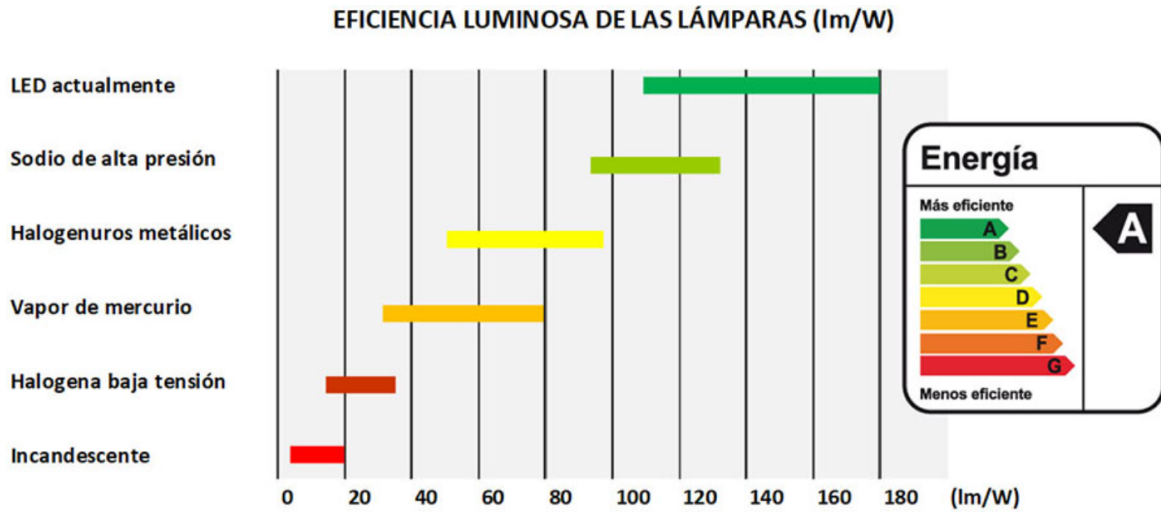


Figura 20: Eficiencia luminosa de las diferentes lámparas

El nivel de iluminación (lux) que llega a una superficie, se relaciona con los lúmenes mediante la relación $\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$, sin embargo, los lúmenes a los que se refiere esta expresión son los lúmenes efectivos que salen de la luminaria y que llegan al plano de trabajo y dependen en gran medida de la eficiencia de la luminaria y la sensibilidad del ojo humano.

La eficiencia de una luminaria mide cuánta luz (en lúmenes) produce la luminaria por cada vatio de energía eléctrica consumida.

La eficiencia de las luminarias viales de vapor de sodio, oscilan entre 0,45 y 0,85, mientras que la eficiencia de las luminarias viales LED oscilan entre 0,7 y 0,99.

Una mayor eficacia luminosa significa que la luminaria produce más luz (lúmenes) por cada vatio de energía consumida (Figura 21). Esto se traduce en un uso más eficiente de la energía eléctrica, lo que provoca menores costos de electricidad [19].

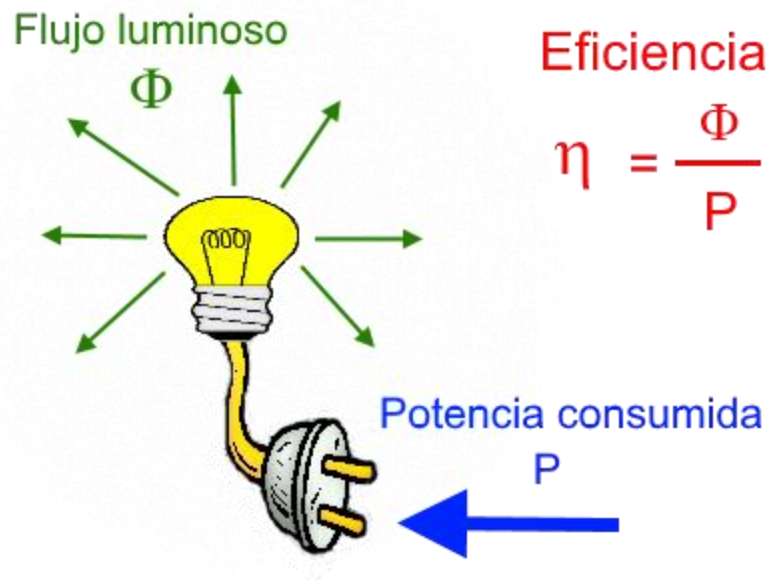


Figura 21: Cálculo de la eficiencia luminosa.

FUENTE: *Compara Lux*

Situación futura

Se observará una disminución en la potencia instalada. Los ahorros resultantes de esta medida se deben a esta disminución, lo que se traducirá en un menor consumo de energía, sin afectar los niveles de iluminación. Además, como se ha mencionado, las luminarias LED tienen una vida útil más larga en comparación con la tecnología de fluorescencia, lo que conlleva ahorros adicionales debido a la menor necesidad de mantenimiento.

8.4 Medida propuesta 4: Bloqueo de consignas en termostatos.

Situación actual

El edificio está equipado con termostatos en cada área, permitiendo a los usuarios ajustar la temperatura de manera independiente y según sus preferencias personales. Esto significa que cada persona tiene la libertad de modificar la climatización de su espacio para lograr el máximo confort. Estos termostatos son fáciles de usar y están ubicados estratégicamente para garantizar un acceso conveniente. Esta característica no solo mejora la comodidad individual, sino que también contribuye a un uso más eficiente de la energía, adaptando la climatización a las necesidades específicas de cada usuario.

Descripción de la medida

El sistema cuenta con una interfaz en línea o un software de gestión (BMS - Building Management System), accede a través de una computadora o dispositivo móvil autorizado. Este sistema permite ajustar los horarios de encendido, así como las temperaturas de consigna para cada uno de los apartados de la climatización.

Por lo tanto, establecer la calefacción a 21°C y la refrigeración a 26°C es una estrategia eficaz para prevenir el exceso de consumo energético que puede ocurrir cuando se calientan o enfrían en exceso los espacios de trabajo.

Cuando la calefacción se ajusta a 21°C, se mantiene una temperatura confortable sin calentar innecesariamente el ambiente, lo que puede llevar a un aumento en el consumo de energía. Similarmente, al fijar la refrigeración en 26°C, se evita el enfriamiento excesivo, lo que también puede resultar en un mayor gasto energético.

Las temperaturas de 21°C para calefacción y 26°C para refrigeración son recomendaciones basadas en una combinación de estándares de confort, buenas prácticas de eficiencia energética y recomendaciones de expertos en climatización. Aunque no están dictadas por una única autoridad, estos valores son generalmente aceptados como un buen equilibrio entre confort y eficiencia.

Situación futura

Al mantener las temperaturas controladas, se optimiza el uso de los sistemas de calefacción y refrigeración, lo que reduce tanto el consumo de energía como los costos asociados. Esta práctica contribuye a un ambiente de trabajo más estable y confortable, evitando fluctuaciones extremas de temperatura que podrían afectar la comodidad de los empleados y la eficiencia general del edificio. Además, garantiza una mayor eficiencia energética al prevenir ajustes inapropiados que pueden llevar a un consumo excesivo de energía, resultando en una reducción significativa de los costos operativos a largo plazo al minimizar el uso innecesario de calefacción o refrigeración. Mantener temperaturas constantes y controladas también prolonga la vida útil de los equipos al evitar que operen en condiciones extremas o fluctuantes.

Esto no solo mejora la sostenibilidad y reduce el impacto ambiental, sino que también asegura un entorno más cómodo y estable para los ocupantes, favoreciendo el bienestar general y la productividad en los espacios de trabajo.

9. Medida de ahorro económico: Optimizar la potencia contratada.

Ajustar la potencia eléctrica a lo que realmente se necesita es clave para no contratar más kilovatios de los que ya usamos, lo que permitirá ahorrar en la factura de la luz. Al revisar bien cómo se consume energía y contratar solo la potencia que necesitamos, evitamos pagar por una energía que no usamos. Esto no solo baja nuestros costos, sino que también ayuda a usar la energía de manera más eficiente y responsable.

Para ello, se debe estudiar el comportamiento eléctrico durante el año 2023 y, con esto, evaluar cuánto se puede optimizar la potencia contratada.

❖ Factura eléctrica

Términos de facturación:

- Término de potencia: es el resultado de sumar el producto de la potencia contratada en cada uno de los periodos horarios por el término de potencia que corresponda:

$$FP = \sum_{p=1}^{p=i} T p_p \cdot P c_p$$

FP: es la facturación de potencia (EUR).

$T p_p$: precio del término de potencia en cada periodo (EUR/kW al año).

$P c_p$: potencia contratada por cada periodo (kW).

i : número de periodos horarios de los que consta el término de facturación de energía del peaje correspondiente.

- Término de energía: resultado de sumar el producto de la energía consumida en cada periodo por el precio del término de energía correspondiente:

$$FE = \sum_{p=1}^{p=i} T e_p \cdot E_p$$

FE: facturación de energía (EUR).

$T e_p$: precio del término de energía en cada periodo (EUR/kWh).

E_p : energía consumida en cada periodo (kWh).

i : número de periodos horarios de los que consta el término de facturación de energía del peaje correspondiente.

Para llevar a cabo la optimización, se utilizarán los precios actuales del término de potencia y del exceso de potencia (EUR/kW) (Tabla 9).

Tabla 9: Precios actuales del término de potencia

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
3.0	15,713047	9,547036	4,658211	4,14256	2,285209	1,553638

- Excesos de potencia: los excesos de potencia se refieren a los cargos adicionales que se aplican cuando el consumo eléctrico supera la potencia contratada. Esto ocurre cuando se utiliza más energía de la que permite el contrato con la compañía suministradora.

$$FEP = \sum_{p=1}^{p=i} K_p \cdot t_{ep} \sqrt{\sum_{j=1}^n (Pd_j - Pc_p)^2}$$

FEP: facturación por el exceso de potencia (EUR).

K_p : coeficiente de discriminación por periodos.

t_{ep} : término de exceso de potencia (EUR/kW).

Pd_j : potencia de cada cuarto-horario j del periodo horario p en el que se haya sobrepasado la potencia contratada Pc_p (kW).

Pc_p : representa la potencia contratada por cada periodo (kW).

i : número de periodos horarios de los que consta el término de facturación de energía del peaje correspondiente.

Los precios del término del exceso de potencia (EUR/kW) de aplicación hasta el 31 de diciembre de 2024, a los consumidores a los que les resulte de aplicación el método de facturación establecido en el artículo 9.4.b.2 de la Circular 3/2020 [20].

Tabla 10: Precios actuales del exceso de potencia

	2.0 TD	3.0 TD	6.1 TD	6.2 TD	6.3 TD	6.4 TD
Precio del exceso de potencia (€/kW).	3,013070	3,395810	3,566788	3,312680	3,019048	2,915852

	Periodo	2.0 TD	3.0 TD	6.1 TD	6.2 TD	6.3 TD	6.4 TD
Coeficiente Kp.	1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
	2	0,034665	0,640766	0,620828	0,666078	0,621562	0,563080
	3	-	0,275670	0,482845	0,427424	0,500437	0,432501
	4	-	0,232691	0,381770	0,355531	0,395142	0,393593
	5	-	0,077884	0,015816	0,018151	0,032600	0,026604
	6	-	0,077884	0,015816	0,018151	0,032600	0,026604

- Términos de energía reactiva:

El factor de potencia $\cos \varphi$ viene definido por la relación existente entre la energía activa (E_a) y la energía reactiva (E_r) en cada uno de los periodos horarios y se calcula conforme a la siguiente fórmula:

$$\cos \varphi = \frac{E_a}{\sqrt{E_a^2 + E_r^2}}$$

E_a : Cantidad registrada por el contador de energía activa, expresada en kWh.

E_r : Cantidad registrada por el contador de energía reactiva, expresada en kVArh.

Hay dos tipos de energía reactiva: la inductiva y la capacitiva.

Hasta ahora solo se tenía en cuenta el consumo de energía reactiva inductiva, pero desde mediados de 2021 también se penalizará los consumos de energía reactiva capacitiva, solo a los usuarios con tarifa de alta tensión.

Estos dos tipos de energías reactivas consumidas son las que son medidas y registradas en el contador. La energía reactiva inductiva es la que se encuentra en el cuadrante I (la cual llamaremos QR1) y la energía reactiva capacitiva es la que se encuentra en el cuadrante IV (la cual llamaremos QR4) (Figura 22) [21].

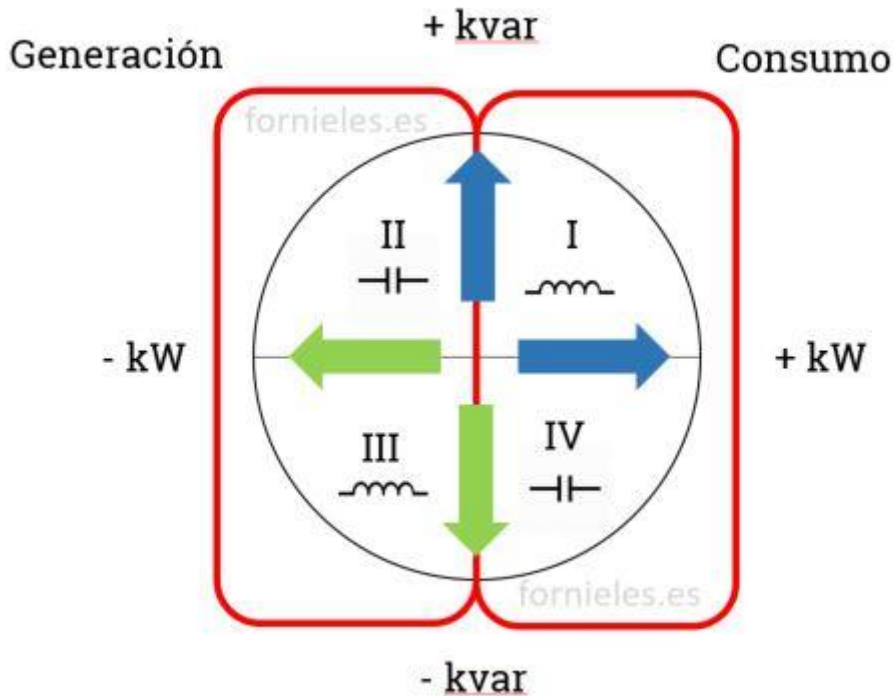


Figura 22: Cuadrantes para saber energía reactiva inductiva o capacitiva.

FUENTE: Francesc Fornieles

En la Tabla 11 se recogen los precios de los términos de energía reactiva inductiva:

Tabla 11: Precios de los términos de energía reactiva inductiva

Periodos	cos φ	€/kVArh
Periodos 1 a 5.	$\cos \varphi \geq 0,95$	0,0000000
	$0,80 \leq \cos \varphi < 0,95$	0,0415540
	$\cos \varphi < 0,80$	0,0623320

En la Tabla 12 se recogen los precios de los términos de energía reactiva capacitiva:

Tabla 12: Precios de los términos de energía reactiva capacitiva

Periodos	cos φ	€/kVArh
Periodo 6.	cos $\varphi < 0,98$	0,0000000

Además de los conceptos ya mencionados, la factura eléctrica también tiene varios impuestos y cargos adicionales que aumentan el costo total. Uno de estos es el Impuesto sobre la Electricidad, que es un tributo específico que se aplica al consumo de electricidad. Otro es el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), un impuesto general que se agrega al total de la factura.

También hay algo llamado peajes de acceso en la factura. Estos son cargos regulados por el gobierno que ayudan a cubrir los costos de transportar y distribuir la electricidad desde donde se genera hasta el edificio. Mantener y mejorar esta infraestructura requiere mucho trabajo y recursos, y estos peajes ayudan a financiarlo.

El costo de los peajes de acceso puede variar dependiendo de dos cosas principales: la potencia contratada y la modalidad tarifaria. La potencia contratada es la cantidad máxima de electricidad que un consumidor puede utilizar al mismo tiempo. Si se necesita más potencia, se paga más. La modalidad tarifaria, por otro lado, se refiere a los diferentes planes de tarifas que uno puede elegir.

Todos estos componentes se combinan para determinar el valor final de la factura eléctrica. Estos elementos aseguran que pagamos no solo por la electricidad que usamos, sino también por los costos necesarios para que la electricidad llegue de manera segura y eficiente al centro estudiado.

Después de tener el valor total de la factura, se deben estudiar otros factores como los valores máximos de potencia que ha alcanzado el centro en el año 2023 (Tabla 13):

Tabla 13: Potencias máximas consumidas por periodos y meses

	Maxímetro (kW)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Enero	113	116	0	0	0	120
Febrero	106	111	0	0	0	113
Marzo	0	106	118	0	0	117
Abril	0	0	33	75	72	74
Mayo	0	0	87	86	37	70
Junio	78	77	0	37	0	68
Julio	0	38	91	91	0	81
Agosto	0	0	94	91	0	82
Septiembre	0	0	0	74	72	74
Octubre	0	87	88	0	35	95
Noviembre	83	85	41	71	69	87
Diciembre	113	116	0	0	0	120

Dado que la potencia contratada para el edificio es de 185,71 kW durante los periodos P1 a P5, y de 375 kW en el periodo P6, se puede analizar la diferencia entre la potencia contratada y la máxima potencia consumida por el edificio. Para facilitar esta comparación, se elabora un gráfico que contrastará estas dos variables.

El valor más alto registrado por el maxímetro dentro de los periodos P1 a P5 se encuentra en el periodo 3, correspondiente al mes de marzo, con un pico de 118 kW. Por lo tanto, en el gráfico se representará este periodo específico, comparando la potencia contratada para dicho periodo con la potencia máxima consumida, lo que permitirá visualizar claramente la cantidad de potencia contratada que no se utilizó.

Esta comparación será crucial para identificar el margen de potencia sobrante y evaluar la optimización de potencia del edificio.

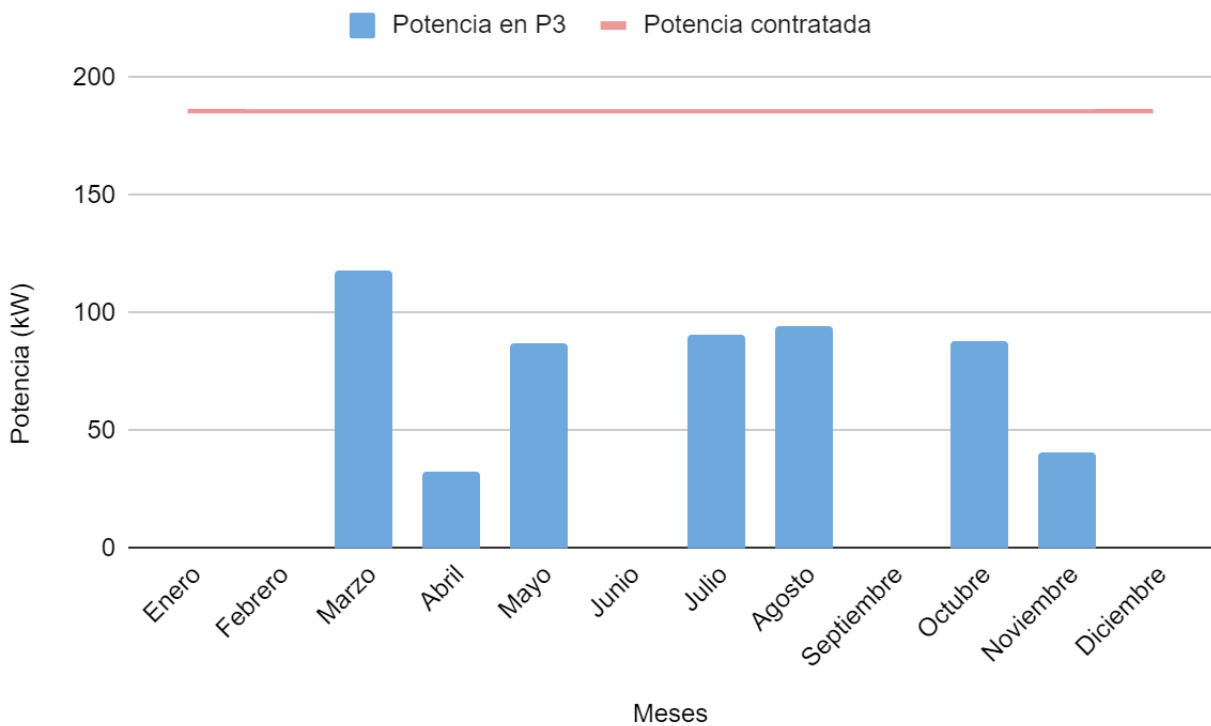


Figura 23: Comparación del periodo 3 con la potencia contratada

Como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 23, la potencia máxima consumida en el edificio, incluso en su punto más alto, se encuentra significativamente por debajo de la potencia contratada. Esta diferencia es considerable, lo que quiere decir que el edificio tiene una capacidad contratada mucho mayor de la que realmente necesita en los momentos de mayor demanda.

Además, es importante tener en cuenta que, con la implementación de las mejoras de ahorro energético ya mencionadas, es probable que el valor máximo de la potencia consumida disminuya aún más. Estas mejoras, que están orientadas a optimizar el uso de energía y reducir el consumo general del edificio, podrían aumentar aún más la diferencia entre la potencia contratada y la potencia realmente utilizada.

Esto muestra que es importante revisar la potencia contratada para ajustarla mejor a las necesidades reales del edificio. El gráfico y las futuras reducciones en el consumo de energía indican que hay espacio para reducir la potencia contratada, lo que puede ayudar a disminuir los costos y a tener una mejor eficiencia energética.

Con todo este estudio hecho se puede evaluar el ahorro que se consigue en el edificio si se baja la potencia contratada de P1 a P5.

Tabla 14: Comparación de precios en situación actual y futura

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTAL
Situación actual	185,71	185,71	185,71	185,71	185,71	375	7707,35 €
Situación futura	100	100	100	100	100	375	4432,85 €

Si se realiza la factura con los datos actuales, sin tener en cuenta los excesos, y con los datos futuros se puede observar cuál es la cantidad de ahorro que se obtiene con la reducción de potencia. Con los datos obtenidos el ahorro es de 3274,5 €, por lo tanto, si lo evaluamos respecto al ahorro esta bajada es positiva.

10. Conclusiones

El análisis energético realizado cumple con los requisitos legales de eficiencia energética y ofrece una gran oportunidad para identificar posibles ahorros económicos a través de la optimización del consumo de energía. Su implementación permite descubrir oportunidades importantes para reducir los costos energéticos mediante la identificación de áreas ineficientes y la propuesta de soluciones. Además, estas acciones contribuyen al cuidado del medio ambiente al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y dar un uso más consciente de los recursos energéticos.

Es recomendable revisar y optimizar los sistemas y la potencia contratada, dado que se han detectado excesos significativos en la potencia demandada. Este ajuste debe considerar las medidas de ahorro propuestas y las ineficiencias identificadas mediante mapas de calor y otras herramientas. La incorporación de estas recomendaciones en el proceso de optimización permitirá reducir la potencia y mejorar la eficiencia en la gestión energética del edificio.

Además, se realiza una línea base del consumo del edificio para tener un estudio más detallado a largo plazo y ver de qué manera se ahorra energía o existe algún sobreconsumo. También es importante realizar una previsión del consumo para ver si se necesitan tomar medidas de ahorro y ver como el edificio seguirá funcionando.

Para lograr un análisis más detallado, se recomienda recopilar información precisa sobre la ocupación del edificio y los horarios de operación de las diferentes zonas. Estos datos permitirán ajustar los sistemas de climatización y otros sistemas energéticos de manera más eficiente.

Se sugiere establecer un seguimiento continuo para evaluar la efectividad de las medidas implementadas y realizar ajustes cuando sea necesario. Además, se recomienda mantener revisiones periódicas de los sistemas energéticos para asegurar que continúen cumpliendo con los estándares de eficiencia y se adapten a posibles cambios en el uso del edificio.

BIBLIOGRAFÍA

- ISOTools. (s.f.). Obtenido de <https://www.isotools.us/normas/medio-ambiente/iso-50001/> [1]
- Compecer. (19 de Enero de 2022). Obtenido de <https://compecer.com/revista/breve-historia-e-importancia-de-la-norma-iso-500012018/> [2]
- Gonzalez, Hugo. (4 de Noviembre de 2019). Obtenido de <https://calidadgestion.wordpress.com/2019/11/04/revision-energetica-iso-50001-2018/> [3]
- Digital360. (13 de Junio de 2023). Obtenido de <https://www.datacentermarket.es/dcm-xl/ques-un-cpd-para-que-sirve-y-como-funciona/> [4]
- Gesternova. (21 de Mayo de 2024). Obtenido de https://gesternova.com/mercado-regulado-mercado-libre-principales-ventajas-diferencias/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwkJm0BhBxEiwAwT1AXAsNpupBnJuK7mBqX4tpnMRbCpqavfJ2m1_LIDaK0FISgyF8lNO2BBoCf4cQAvD_BwE [5]
- ENDESA. (8 de Agosto de 2023). Obtenido de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/sector-energetico/mercado-libre-mercado-regulado-pvpc> [6]
- Billin. (s.f.). Obtenido de <https://www.billin.net/glosario/definicion-libre-mercado/#:~:text=del%20libre%20mercado-,Caracter%C3%ADsticas%20del%20libre%20mercado,la%20cantidad%20y%20a%20qui%C3%A9n%20comprar.> [7]
- Gesternova. (20 de Abril de 2022). Obtenido de <https://gesternova.com/tarifa-fija-tarifa-variable/#:~:text=Si%20eres%20de%20las%20personas,te%20recomendamos%20la%20tarifa%20variable.> [8]

Plenitude. (10 de Febrero de 2023). Obtenido de <https://eniplenitude.es/blog/actualidad/3-0-td-tarifa-luz-3-0/#:~:text=La%20Tarifa%203.0TD%20es,pasaron%20a%20llamarse%203.0TD.> [9]

SomEnergia. (s.f.). Obtenido de https://es.support.somenergia.coop/article/1108-horarios-y-periodos-de-la-tarifa-3-0td-y-las-tarifas-de-alta-tension-6-1td-6-2td-6-3td-y-6-4td?utm_source=linkidiomes&utm_medium=cda&utm_campaign=castellano [10]

Lampara Directa. (s.f.). Obtenido de https://es.support.somenergia.coop/article/1108-horarios-y-periodos-de-la-tarifa-3-0td-y-las-tarifas-de-alta-tension-6-1td-6-2td-6-3td-y-6-4td?utm_source=linkidiomes&utm_medium=cda&utm_campaign=castellano [11]

Santoyo, J. A., & Romero Servín, S. (s.f.). Obtenido de <https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/eugreka//contribuciones/171-la-luz-de-la-naturaleza-fluorescencia-y-fosforescencia#:~:text=La%20fluorescencia%20absorbe%20la%20energ%C3%ADa,excitadora%20inicial%20haya%20sido%20apagada.> [12]

REPSUS. (s.f.). Obtenido de <http://www.repsus.es/Aprende-con-REPSUS/Sab-as-que/Bombillas-halogenas/> [13]

GRLUM. (s.f.). Obtenido de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporSodioAltaPresion.php> [14]

Nedgia. (10 de Noviembre de 2023). Obtenido de <https://www.nedgia.es/blog-gas-natural/maes-medidas-ahorro-energetico/#:~:text=Las%20medidas%20de%20ahorro%20energ%C3%A9tico,a%20nuestro%20favor%20sin%20malgastarlos.> [15]

S&P. (8 de Octubre de 2018). Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/free-cooling/#:~:text=Principales%20ventajas,-Como%20ventajas%20podemos&text=Reduce%20la%20cantidad%20de%20emisiones,de%20un%20sistema%20de%20climatizaci%C3%B3N.> [16]

Gonzaga, Luis. (2016). Obtenido de <https://www.aprenderailuminar.com/2016/10/indice-de-reproduccion-cromatica-irc.html> [17]

MITECO. (Marzo de 2013). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/lamparas-led-versus-compactas.html#:~:text=Una%20mayor%20duraci%C3%B3n%3A%20las%20%C3%A1mparas,consumo%20entre%205.000%20y%208.000.> [18]

ComparaLux. (s.f). Obtenido de <https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesLuminotecnicas.php> [19]

BOE. (25 de Diciembre de 2023). Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-26251 [20]

Fornieles, Francisc. (29 de Enero de 2022). Obtenido de <https://fornieles.es/energia-reactiva/recargo-energia-reactiva-factura-electricidad/> [21]



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

1. Costes

Para llevar a cabo una evaluación completa de los costes asociados a la implementación de medidas de ahorro energético, he seleccionado: la sustitución de luminarias tradicionales por tecnología LED, la instalación de detectores de presencia, y la implementación de sistemas de freecooling. Estas medidas han sido escogidas por su capacidad para generar ahorros significativos en el consumo energético y mejorar la eficiencia de las instalaciones. La opción de bloquear la consigna de los termostatos no se ha añadido a los costes porque no conlleva ningún coste económico y, por lo tanto, no ha sido incluida en el análisis financiero.

En cuanto a la sustitución de luminarias se comienza por analizar la potencia actual de cada tipo de lámpara que se utiliza en las instalaciones, así como el número total de lámparas y luminarias que se tiene previsto reemplazar. Con esto estudiamos la potencia futura en LED y se evalúa tanto el coste de la luminaria como el coste de la instalación para sacar el coste total.

El cálculo del coste total para la sustitución de luminarias, como he mencionado, se divide en dos componentes principales: el coste de las luminarias LED y el coste asociado a su instalación. En primer lugar, se considera el precio de las nuevas luminarias, el cual puede variar según el tipo y la calidad de los productos seleccionados. En segundo lugar, se incluyen los costes relacionados con la instalación, que incluyen desde la mano de obra necesaria hasta posibles ajustes o modificaciones en el sistema eléctrico existente.

A continuación, como he mencionado, se presenta la Tabla 1 que contiene todos los datos relevantes relacionados con la potencia actual y futura, así como los aspectos económicos asociados a cada medida de ahorro energético que han sido evaluados y estudiados:

Tabla 1: Propuesta para la sustitución de luminarias.

Tipo Lámparas	Potencia actual (W)	Lámparas	Nº de luminarias	Potencia futura (W)	Coste de luminaria (EUR)	Coste por instalación (EUR)	Coste total (EUR)
Fluorescencia compacta	18	30	125	18	60,48	56	291,2
Fluorescencia compacta	26	2	28	24	162,72	168	3.940,79
Fluorescencia lineal T5	18	2	8	16	70,40	56	252,8
Fluorescencia lineal T5	28	4	8	18	18,79	14	295,11
Fluorescencia lineal T5	54	1	9	24	13,56	14	220,46
Fluorescencia lineal T8	18	5	13	12	13,5	14	247,5
Fluorescencia lineal T8	36	3	51	15,6	6,92	14	418,4
Fluorescente PLL	36	10	31	36	99,9	70	1.053,38
Halógenas	50	5	32	5	9,4	70	508,16
Halógenas	60	1	4	18	15,12	14	116,48

Por otro lado, se presenta a continuación la Tabla 2 que incluye todos los equipos necesarios para la instalación del sistema de freecooling, así como los costes totales asociados a cada uno de ellos.

Esta tabla proporciona una visión completa de los componentes requeridos para llevar a cabo la instalación, junto con los costes para facilitar la planificación y el presupuesto del proyecto. En ella, se incluyen no solo los costes de adquisición de los equipos, sino también otros gastos asociados como instalación y posibles costos adicionales.

Esto permite tener una visión clara de la inversión total necesaria para la implementación efectiva del sistema de freecooling.

Tabla 2: Propuesta para instalación de freecooling

Equipos	Coste (EUR)
Ventilador de impulsión	1326
Ventilador de retorno	1326
Cajas para ventiladores	1042
Instalación	2200,1
Sonda de temperatura, servomotor, controlador etc.	1117,5

La medida de ahorro de detección de presencia (Tabla 3) contiene los lugares del edificio en los que se instalará cada uno de ellos, el número a instalar y el coste de cada uno de ellos.

Tabla 3: Propuesta para detección de presencia

Edificio	Zona	Nº de detectores	Coste total (EUR)
Principal (Planta 1)	Aseo Mujeres	4	336
Principal (Planta 1)	Aseo Hombres	4	336
Principal (Planta 2)	Aseo Mujeres	4	336
Principal (Planta 2)	Aseo Hombres	4	336
Principal (Planta 3)	Aseo Mujeres	4	336
Principal (Planta 3)	Aseo Hombres	4	336
Principal (Planta 4)	Aseo Mujeres	4	336
Principal (Planta 4)	Aseo Hombres	4	336
Torreón	Aseo Mujeres	4	336
Torreón	Aseo Hombres	4	336
Principal	Sala de reuniones	6	504

Por último, en la Tabla 4 se presenta un resumen de cada una de las medidas de ahorro a implementar, detallando la inversión necesaria para su ejecución y el ahorro esperado que generarán.

Además, la Tabla 4 facilita la comparación entre diferentes medidas, permitiendo identificar cuáles ofrecen los mejores beneficios en relación con la inversión realizada y contribuyen de manera más significativa a la optimización de recursos y reducción de gastos.

Tabla 4: Resumen de las MAEs propuestas

Medida de ahorro	Ahorro (kWh)	Inversión (EUR)
Sustitución del sistema de iluminación por tecnología LED	27838	8289,47
Instalación de detectores de presencia	8200	3920
Instalación de módulo free-cooling en la sala CPD	6313,5	7012
TOTAL	42351,5	19221,47

2. Tiempo estimado para llevar a cabo el proyecto

FASES	Septiembre						Octubre						Noviembre					
	25	26	27	28	29	30	1	7	14	20	25	28	31	1	2	3	4	5
Conseguir planos y fichas	■																	
Pruebas en la zona de cambio de la luminaria		■																
Permisos y aprobación			■	■	■	■	■											
Llegada del material								■										
Instalación									■	■								
Gestión de residuos de obra											■							
Inspección final												■						
Documentación de MAE													■					
Entrega de documento y cierre de proyecto														■	■	■	■	■

Figura 1: Diagrama de Grantt para sustitución de luminarias

FASES	Septiembre						Octubre						Noviembre					
	25	26	27	28	29	30	1	7	14	20	25	28	31	1	2	3	4	5
Conseguir planos y fichas																		
Pruebas en la zona de cambio de la luminaria																		
Permisos y aprobación																		
Llegada del material																		
Instalación																		
Gestión de residuos de obra																		
Inspección final																		
Documentación de MAE																		
Entrega de documento y cierre de proyecto																		

Figura 2: Diagrama de Grantt para detección de presencia

FASES	Septiembre						Octubre							Noviembre				
	25	26	27	28	29	30	1	7	14	20	25	28	31	1	2	3	4	5
Conseguir planos y fichas	■																	
Permisos y aprobación		■	■	■	■	■												
Llegada del material							■											
Preparar la sala para la instalación								■										
Instalación									■	■								
Inspección final											■							
Integrar en el sistema gestión de control												■						
Documentación de MAE													■					
Entrega de documento y cierre de proyecto														■	■	■	■	■

Figura 3: Diagrama de Grantt para instalación de freecooling

3. Coste de realización de la revisión energética

Para saber el coste de la revisión energética que ha sido realizada se deben tener en cuenta varios factores empleados para este estudio:

- Tipo de instalación: Determinar si es un edificio residencial, comercial, industrial, etc. El tamaño y complejidad de la instalación influirán en el tiempo y los recursos necesarios.
- Áreas a evaluar: Definir qué sistemas energéticos incluye la revisión (electricidad, calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, etc.).
- Número de sistemas y equipos.
- Tamaño y distribución: El tamaño de la instalación, incluyendo el número de plantas y la distribución de los sistemas.
- Herramientas tecnológicas: El uso de software especializado para calcular indicadores energéticos y realizar análisis de eficiencia.
- Experiencia del equipo: Personal más especializado puede realizar un análisis más profundo, pero a un costo mayor.
- Cantidad de personal necesario
- Duración estimada: El tiempo que dure la revisión, desde la planificación inicial hasta la entrega del informe final.
- Plazos de entrega: Si el cliente pide una revisión en un tiempo más corto, esto aumenta el coste debido a la necesidad de recursos adicionales.
- Documentación y reportes: La preparación de informes y documentación necesaria para cumplir con normativas o certificaciones energéticas.
- Reuniones y coordinación: El tiempo dedicado a reuniones con el cliente, visitas a las instalaciones y coordinación general del proyecto.
- Transporte y alojamiento: Si la revisión energética requiere desplazamientos frecuentes o si las instalaciones están lejos
- Equipos y herramientas de medición.
- Cumplimiento normativo: Si la revisión debe cumplir con normativas específicas o busca obtener ciertas certificaciones (en este caso, ISO 50001).

Para llevar a cabo todas estas fases, se realiza un esquema con las acciones a realizar y en el tiempo estimado para verlo de manera más planificada:

FASES	Julio						Agosto						Septiembre					
	1	2	5	10	20	30	1	7	14	20	25	28	31	1	2	5	10	15
Selección del equipo de trabajo	■	■																
Estudiar la información que tenemos			■	■														
Visitar el centro					■													
Recopilación de datos						■												
Análisis sobre los datos recogidos							■	■	■	■								
Identificación de medidas de ahorro energético									■	■								
Redacción del informe												■	■					
Revisión y aprobación														■	■			
Planificación de las medidas de ahorro																■	■	
Revisión final y entrega																		■

Figura 4: Diagrama de Grantt para la realización de la revisión energética



Considerando todos los factores mencionados y tomando como referencia otras revisiones energéticas similares, se puede estimar que el coste será proporcional al nivel de detalle y profundidad aplicados durante el proceso de revisión energética. Es decir, cuanto mayor sea la complejidad del análisis y el tiempo invertido, más elevado será el precio, asegurando así un balance adecuado entre la inversión realizada y la calidad de los resultados obtenidos.

Contando con que no es un edificio de un gran tamaño, el precio estimado está en torno a unos 4000 € aproximadamente:



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

DOCUMENTO N° 3: ANEXOS

ANEXO 1: Características de la distribución del edificio

Tabla 1: Características de la distribución del edificio

Uso principal	Escalera	Planta	Puerta	Superficie m ²
OFICINA	1	00	A	1.064
OFICINA	1	00	B	120
OFICINA	2	00	A	313
SOPORT. 50%	1	00	C	5
SOPORT. 50%	1	00	D	10
ALMACÉN	3	00	A	28
OFICINA	2	01	A	213
OFICINA	2	01	B	74
OFICINA	1	01	A	516
OFICINA	1	01	B	439
OFICINA	1	01	C	229
OFICINA	1	02	A	955
OFICINA	1	03	A	896
OFICINA	1	04	A	296
OFICINA	1	05	A	120
OFICINA	2	00	B	178
SOPORT. 50%	2	00	C	15
OFICINA	2	01	C	188
OBR URB INT	3	00	A	4.128

ANEXO 2: Unidades terminales del edificio

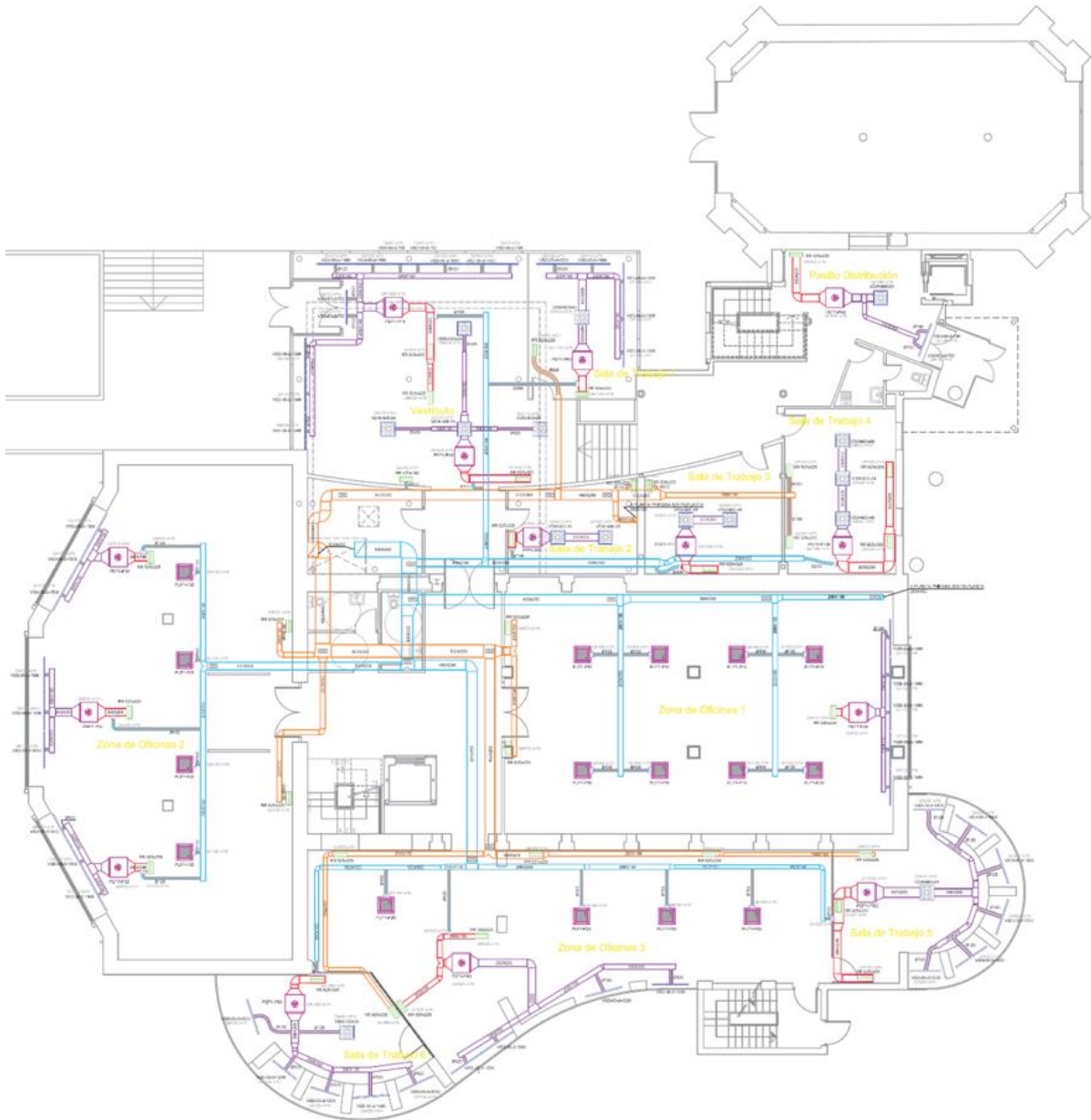


Figura 1: Unidades terminales planta Baja

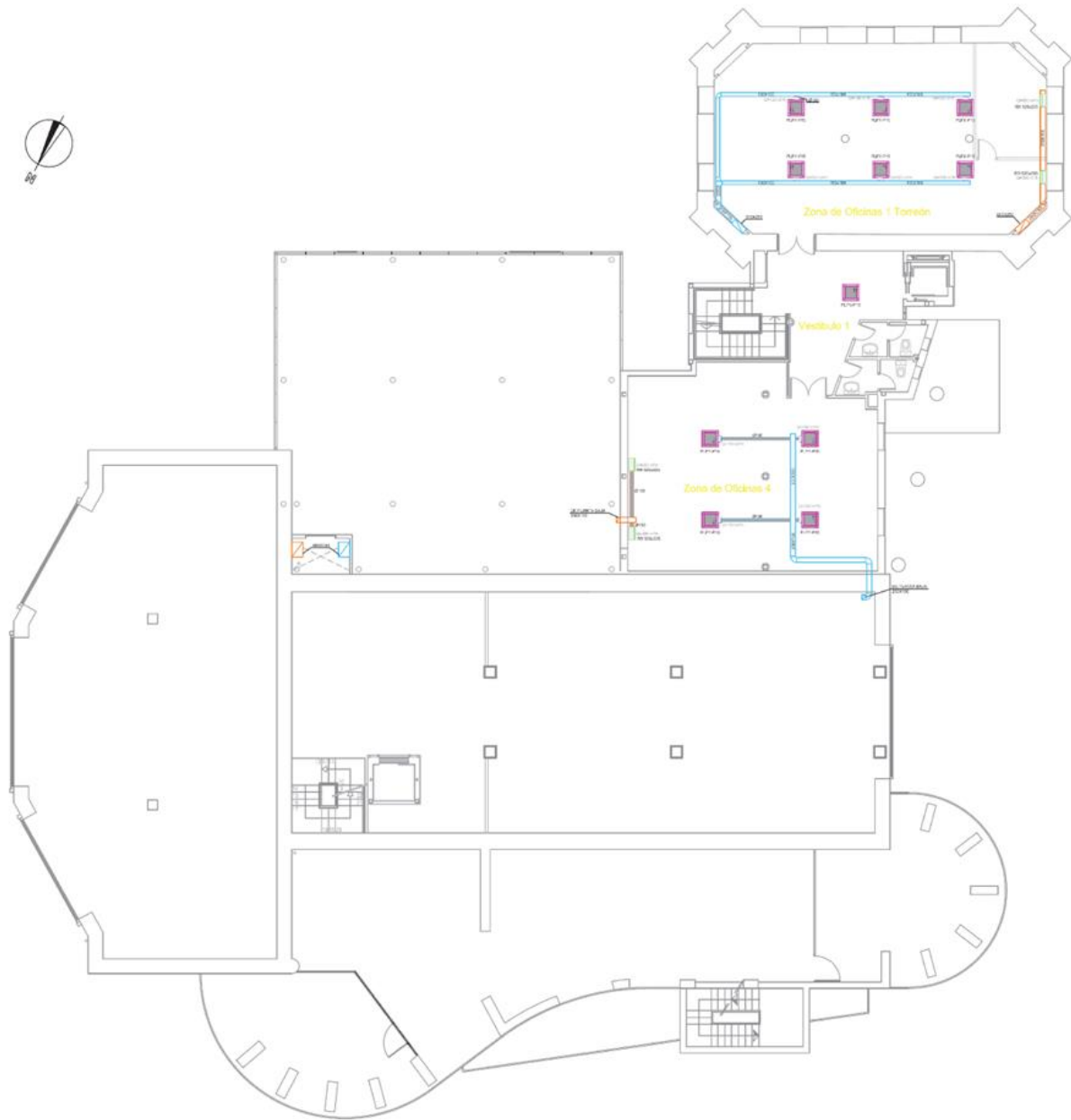


Figura 2: Unidades terminales planta Primera del Torreón

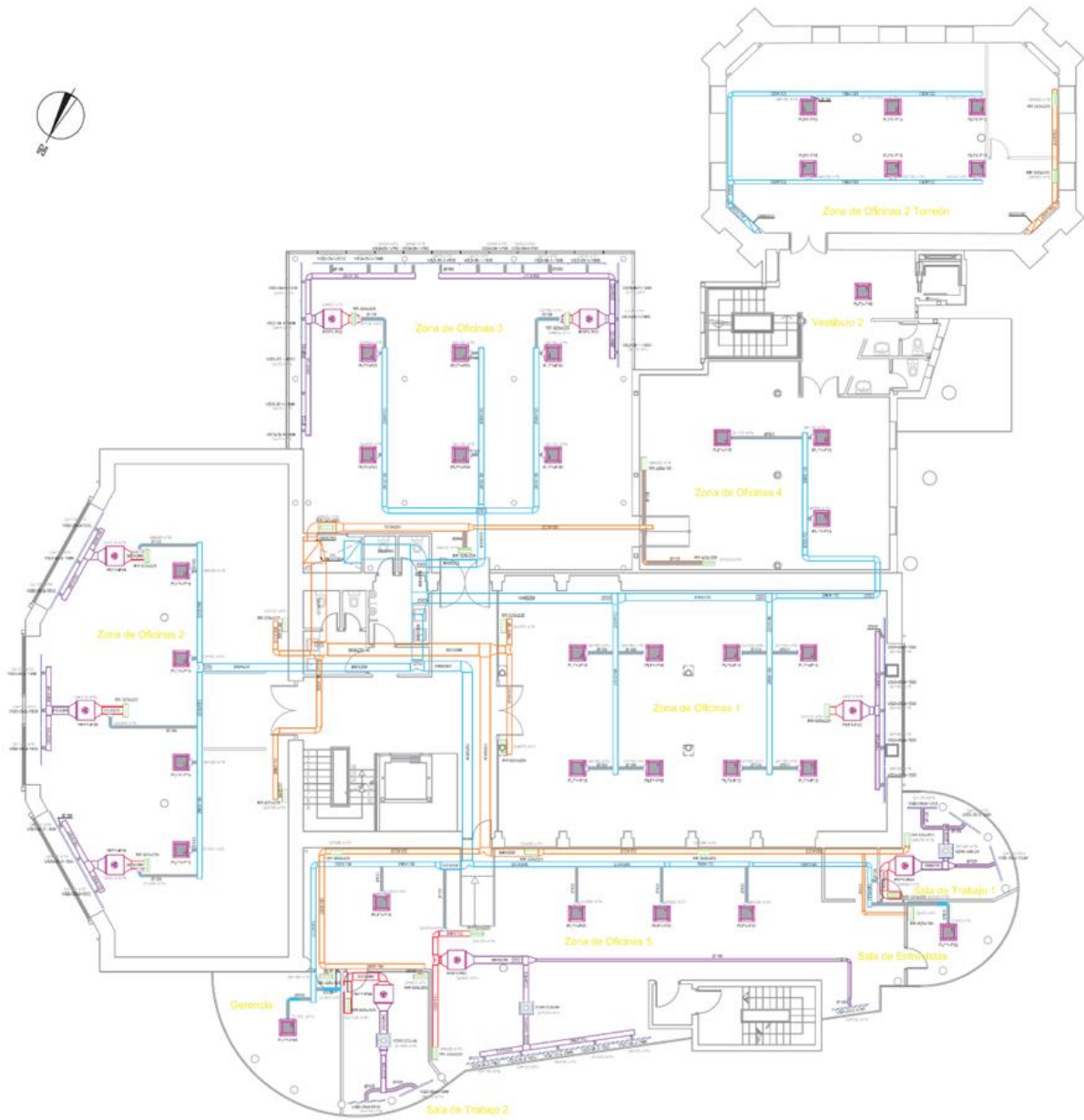


Figura 3: Unidades terminales planta Primera y Segunda del Torreón

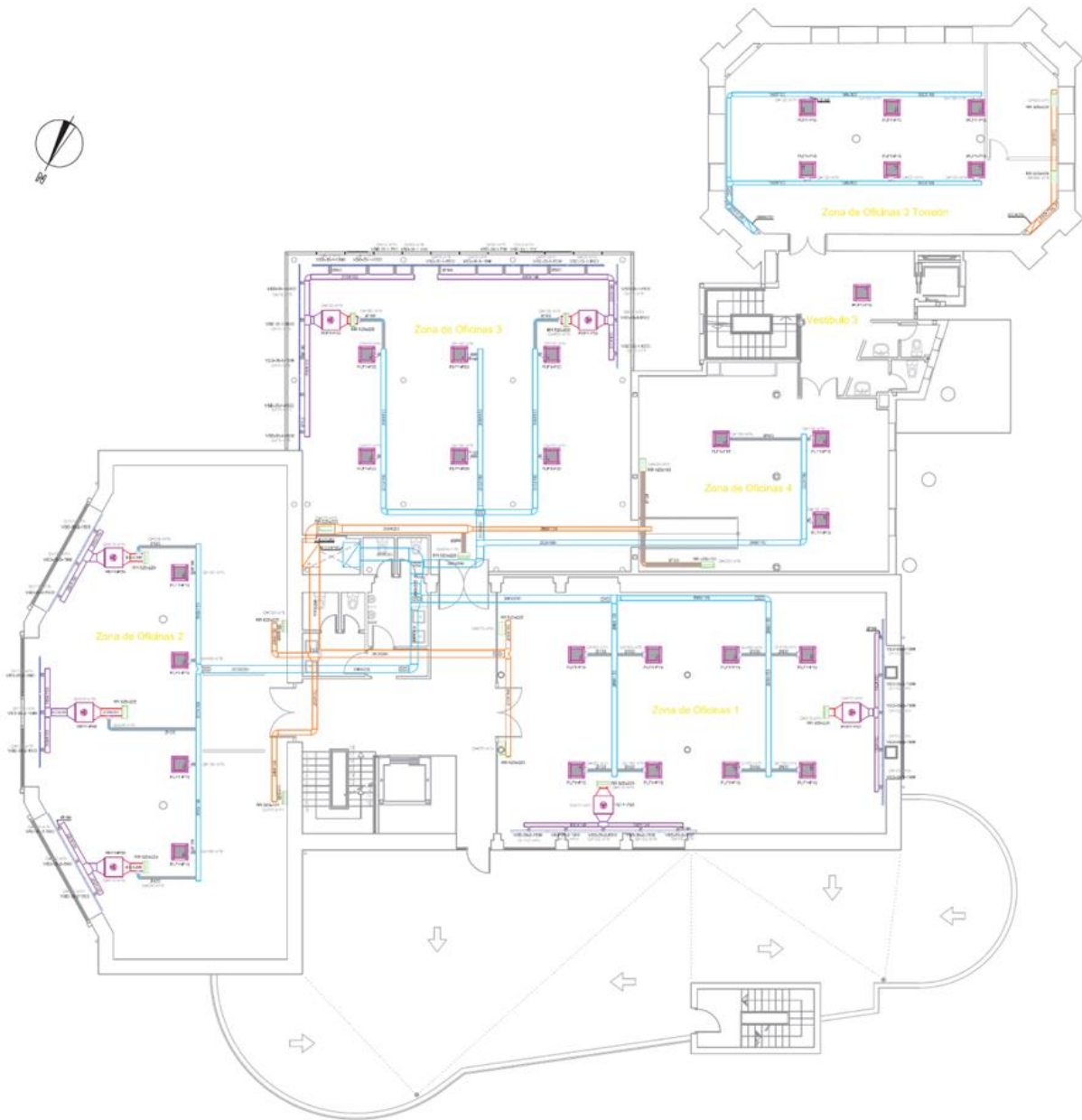


Figura 4: Unidades terminales planta Segunda y Tercera del Torreón

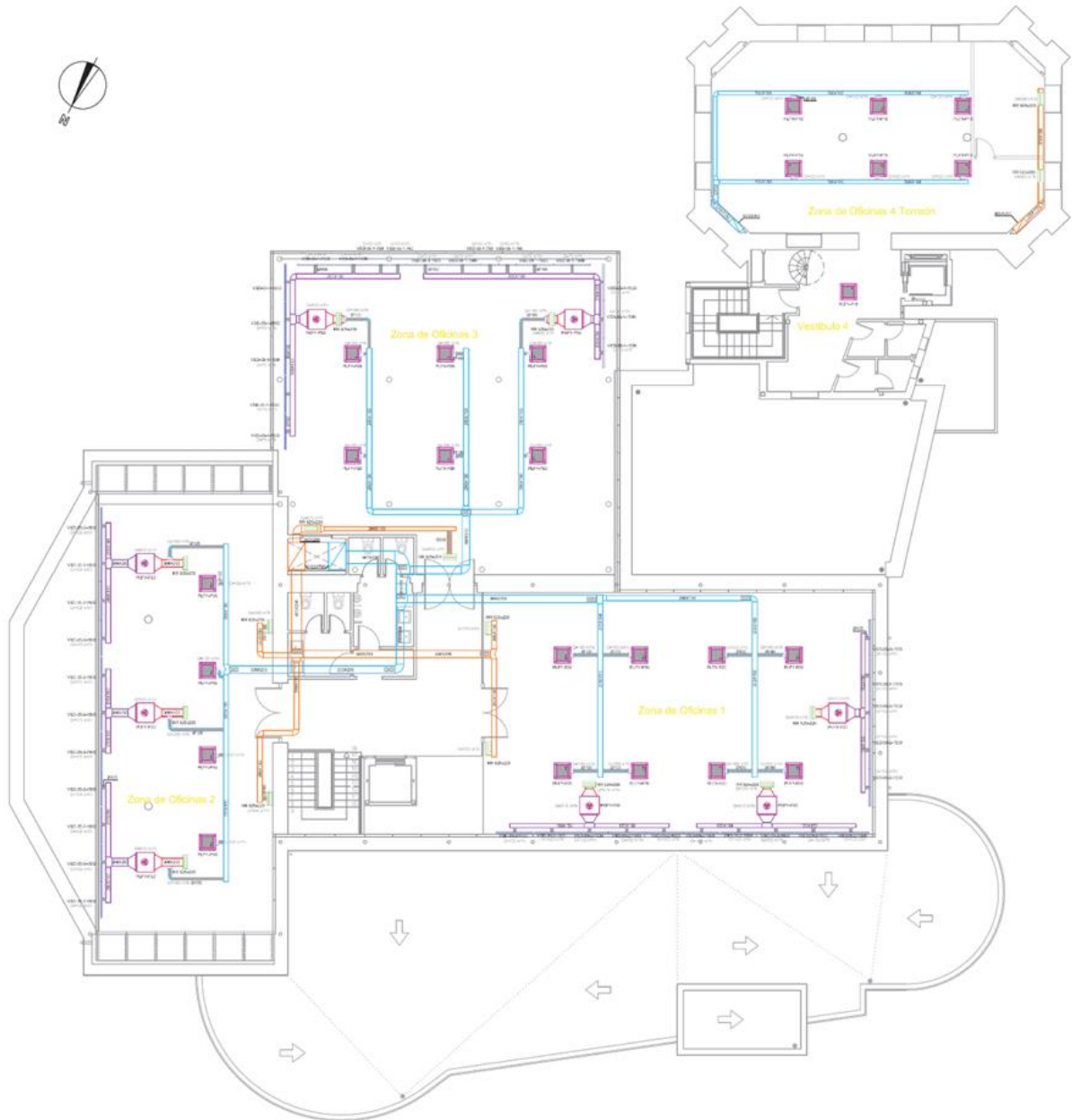


Figura 5: Unidades terminales planta Tercera y Cuarta del Torreón

ANEXO 3: Inventario de equipos

Tabla 2: Equipos de generación para climatización

Planta	Ubicación	Marca	Modelo	Número	Pot. Elect. (kW)
Baja	Cubierta	mitsubishi	PURY-P450 YJM-A	2	14,535
Primera	Cubierta	mitsubishi	PURY-P350 YJM-A	1	11,11
Primera	Cubierta	mitsubishi	PURY-P300 YJM-A	1	8,725
Segunda	Cubierta	mitsubishi	PURY-P450 YJM-A	1	14,535
Tercera	Cubierta	mitsubishi	PURY-P250 YSJM-A	2	7,185
Torreón	Cubierta	mitsubishi	PUHY-P400 YSJM-A	1	13,025

Tabla 3: Inventario de unidades terminales

Planta	Tipo	Marca	Modelo	Número	Pot. Elect. (kW)
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P20VMA-E	12	0,06
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P25VMA-E	4	0,06
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P32VMA-E	6	0,07
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P40VMA-E	4	0,09
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P50VMA-E	1	0,11

Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P63VMA-E	1	0,12
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P71VMA-E	2	0,14
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P80VMA-E	0	0,14
Varias	Conductos	mitsubishi	PEFY-P100VMA-E	1	0,24
Varias	Cassette	mitsubishi	PLFY-P15VCM-E	83	0,04
Varias	Cassette	mitsubishi	PLFY-P20VCM-E	18	0,05
Varias	Cassette	mitsubishi	PLFY-P25VCM-E	12	0,05
Varias	Cassette	mitsubishi	PLFY-P32VCM-E	1	0,06
Varias	Cassette	mitsubishi	PLFY-P40VCM-E	1	0,06
Varias	Recuperador	TROX	TKM 50 HE	2	1,5
Torreón	Recuperador	KOSNER	KRC-DP 4	1	1,5
Planta baja	Cassette	mitsubishi	PLFY-P63VCM-E	1	0,04

Tabla 4: Inventario para ACS: termos eléctricos

Planta	Ubicación	Número	Volumen de acumulación (litros)	Pot. Elect. (kW)
Primera	Aseos	1	50	1,2
Segunda	Aseos	1	50	1,5
Tercera	Aseos	1	50	1,6
Torreón	Aseos	1	75	1,5

Tabla 5: Inventario de los sistemas CPD

Planta	Ubicación	Equipo	Marca	Modelo	Unidades	Pot. Elect.(kW)
Planta baja	Rack de recepción	Ud. Interior+exterior	mitsubishi	PUZ-ZM5VKA2	1	1,285
Planta 5 torreón	CPD	Ud. Interior	Carrier	42QHC18D8S	2	0,05
Cubierta Torreón	CPD	ud. exterior	Carrier	38QUS042DS5	1	4,7
Torreón	CPD	Sistema	CPD+racks	-	1	7,9

Tabla 6: Inventario de iluminación

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Baja	Vestíbulo Recepción.	LED	2	30
Principal	Baja	Vestíbulo Recepción.	Fluorescencia compacta	28	1747,2
Principal	Baja	Zona Ofic. 1	LED	15	225
Principal	Baja	Zona Ofic. 1	LED	33	891
Principal	Baja	Zona Ofic. 2	LED	5	59
Principal	Baja	Zona Ofic. 2	LED	41	1107
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Zona Común	LED	10	180
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Zona Común	LED	17	459

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Zona Común	LED	5	35
Principal	Baja	Zona Ofic.3 zona común	Fluorescencia lineal T8	4	345,6
Principal	Baja	Rack de seguridad	Fluorescente PLL	4	345,6
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Sala De reuniones	Fluorescente PLL	6	518,4
Principal	Baja	Zona vending	LED	5	30
Principal	Baja	Zona vending	LED	5	180
Principal	Baja	zona vending.	LED	8	56
Principal	Baja	Hall ascensores	LED	2	72
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Hall Ascensor Ofic.	LED	1	18
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Hall Ascensor Ofic.	LED	14	504
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Aseos Minusv.	LED	2	50
Principal	Baja	Zona Ofic.3 Aseos Minusv.	Fluorescencia compacta	2	67,2
Principal	Baja	Zona Rack recepción	LED	2	72
Principal	Baja	Zona Reprografía recepción	Fluorescente PLL	2	172,8

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Baja	Hall Ascensor Torreón	Fluorescencia compacta	8	345,6
Principal	Baja	Aseo Torreón	LED	2	12
Principal	Baja	Hall Aseos Oficinas	Fluorescencia compacta	17	734,4
Principal	Baja	Escaleras	LED	3	21
Principal	Baja	Escaleras	LED	6	42
Principal	Baja	Escaleras	Fluorescencia compacta	6	259,2
Torreón	Entre planta	Hall	Fluorescencia compacta	7	302,4
Torreón	Entre planta	Hall	Halógenas	2	120
Torreón	Entre planta	Oficina	Halógenas	13	780
Torreón	Entre planta	Enfermería	Halógenas	7	420
Torreón	Entre planta	Cuarto de limpieza	Halógenas	3	180
Torreón	1ª torreón	Torreón	LED	1	5,8
Torreón	1ª torreón	Torreón	LED	27	729
Torreón	1ª torreón	corner	LED	14	504
Torreón	1ª torreón	Escaleras	Fluorescencia compacta	4	67,2
Torreón	1ª torreón	Escaleras	Halógenas	4	288
Torreón	1ª torreón	Escaleras	LED	4	28

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Primera	Escaleras	Fluorescencia lineal T8	8	345,6
Principal	Primera	Zona Ofic. 1	LED	42	1344
Principal	Primera	Zona Ofic. 1	LED	4	60
Principal	Primera	Zona Ofic. 2	LED	4	60
Principal	Primera	Zona Ofic. 2	LED	42	1344
Principal	Primera	Zona Ofic. 3	LED	32	1024
Principal	Primera	Zona Ofic. 3	LED	16	240
Principal	Primera	Zona Ofic. 4	LED	3	45
Principal	Primera	Zona Ofic. 4	LED	14	448
Principal	Primera	Zona Ofic. 5	Fluorescente PLL	13	1123,2
Principal	Primera	Zona Ofic. 5	LED	13	195
Principal	Primera	Zona Ofic. 5	LED	31	992
Principal	Primera	Zona Ofic. 5	LED	13	78
Principal	Primera	Zona Ofic. 5	Fluorescente PLL	6	518,4
Principal	Primera	Aseos Oficinas	LED	4	24
Principal	Primera	Aseos Oficinas	LED	4	60
Principal	Primera	Aseos Oficinas	Fluorescencia lineal T5	2	67,2
Principal	Primera	Hall Aseos Oficinas	Fluorescencia compacta	14	604,8

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Primera	Hall Aseos Oficinas	LED	1	15
Principal	Primera	Aseos Torreón	LED	4	24
Principal	Primera	Hall Aseos Torreón	Fluorescencia compacta	8	345,6
Torreón	2ª torreón	Torreón	LED	25	800
Torreón	2ª torreón	Torreón	LED	4	108
Torreón	2ª torreón	Aseos Torreón	LED	4	23,2
Principal	Segunda	Zona Ofic. 1	LED	16	240
Principal	Segunda	Zona Ofic. 1	LED	32	1024
Principal	Segunda	Zona Ofic. 2	LED	8	120
Principal	Segunda	Zona Ofic. 2	LED	42	1344
Principal	Segunda	Zona Ofic. 3	LED	40	1280
Principal	Segunda	Zona Ofic. 3	LED	4	60
Principal	Segunda	Zona Ofic. 4	LED	7	105
Principal	Segunda	Zona Ofic. 4	LED	12	384
Principal	Segunda	Aseos Oficinas	LED	4	24
Principal	Segunda	Aseos Oficinas	LED	4	60
Principal	Segunda	Aseos Oficinas	Fluorescencia lineal T5	2	67,2
Principal	Segunda	Hall Aseos Oficinas	Fluorescencia compacta	14	604,8

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Principal	Segunda	Hall Aseos Torreón	Fluorescencia compacta	8	345,6
Torreón	3ª torreón	Aseos Torreón	LED	4	24
Torreón	3ª torreón	Torreón	LED	24	768
Principal	Tercera	Zona Ofic. 1	LED	16	240
Principal	Tercera	Zona Ofic. 1	LED	32	1024
Principal	Tercera	Zona Ofic. 2	LED	3	45
Principal	Tercera	Zona Ofic. 2	LED	42	1344
Principal	Tercera	Zona Ofic. 3	LED	38	1216
Principal	Tercera	Zona Ofic. 3	LED	3	45
Principal	Tercera	Aseos Oficinas	LED	4	24
Principal	Tercera	Aseos Oficinas	LED	4	60
Principal	Tercera	Aseos Oficinas	Fluorescencia lineal T5	2	67,2
Principal	Tercera	Hall Aseos Oficinas	Fluorescencia compacta	14	604,8
Principal	Tercera	Aseos Torreón	LED	4	24
Principal	Tercera	Hall Aseos Oficinas	LED	1	15
Principal	Tercera	Hall Aseos Torreón	Fluorescencia compacta	8	345,6
Torreón	4ª torreón	Torreón	LED	24	768
Torreón	4ª torreón	Torreón	LED	2	30

Edificio	Planta	Ubicación	Tipo Lámparas	Nº Luminarias	Potencia total (W)
Torreón	4º torreón	Aseos Torreón	LED	4	24
Torreón	4º torreón	Hall aseos torreón	Fluorescencia compacta	6	259,2
Torreón	5º torreón	cubierta CPD	Halógenas	7	504
Torreón	5º torreón	cubierta CPD	Fluorescencia lineal T8	20	864
Sótano	Garaje	Garaje	Fluorescencia lineal T8	22	1900,8
Exterior	Exterior	Iluminación exterior	Vapor mercurio	3	900
Exterior	Exterior	Iluminación exterior (farolas)	Vapor de sodio	4	1440
Exterior	Exterior	Iluminación exterior	LED	6	42
Exterior	Exterior	Iluminación exterior	Vapor de sodio	15	1800