



**Universidad
Europea**

CLIMATIZACIÓN MEDIANTE FREE COOLING DE UN CENTRO DE PROCESO DE DATOS

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO
ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

CURSO ACADÉMICO 2021-2022



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

INGENIERÍA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

CLIMATIZACIÓN MEDIANTE FREE

**COOLING DE UN CENTRO DE PROCESO DE
DATOS**

Alumno: D. IGNACIO JIMÉNEZ GRECH

Director: D. RICARDO LATORRE

FEBRERO 2022

TÍTULO: CLIMATIZACIÓN MEDIANTE FREE COOLING DE UN CENTRO DE PROCESO DE DATOS

AUTOR: IGNACIO JIMÉNEZ GRECH

DIRECTOR DEL PROYECTO: RICARDO LATORRE DARDÉ

FECHA: 3 DE FEBRERO 2022

RESUMEN

Palabras clave: free cooling, centro de datos, eficiencia energética.

El objetivo del siguiente proyecto es el diseño de un sistema completo de climatización con la peculiaridad de la implementación en el mismo la tecnología free cooling para su instalación en un centro de procesamiento de datos en Pozuelo de Alarcón, municipio de la Comunidad de Madrid. El diseño se realizará asegurando el cumplimiento del marco técnico y legal vigente actualmente.

En primer lugar, se define el concepto de free cooling y su aplicación en el sector de los centros de datos, seguido de un análisis climatológico de la zona del emplazamiento para determinar las condiciones de temperatura y humedad del interior del centro de datos. Para ello, se escogerá de referencia las condiciones de verano, las más desfavorables para la instalación de refrigeración.

En segundo lugar, se realiza una modificación del sistema actual por uno basado en free cooling en función de las características constructivas del edificio y las cargas térmicas de la sala en cuestión aplicando los métodos de cálculo necesarios para ello.

En tercer y último lugar, se analiza el coste de inversión para la implementación de dicho sistema y la eficiencia energética que gana la instalación frente a la instalación previa, calculando el retorno de la inversión y una comparación de los consumos energéticos de los sistemas de climatización.

ABSTRACT

Key words: free cooling, data center, energy efficiency.

The objective of the following project is the design of a complete HVAC system with the peculiarity of implementing free cooling technology in it for its installation in a data processing center in Pozuelo de Alarcón, a municipality in the Community of Madrid.

First, the concept of free cooling and its application in the data center industry is defined, followed by a climatological analysis of the site area to determine the temperature and humidity conditions inside the data center. In order to do this, the summer conditions will be chosen as reference, the most unfavorable for the refrigeration installation.

Secondly, a modification of the actual system to a one base don free cooling is carried out based on the constructive characteristics of the building and the thermal loads of the room in question applying the necessary calculation methods for it.

Third and last, the investment cost for the implementation of said system and the energy efficiency gained by the installation compared to the previous installation are analyzed, calculating the return on investment and a comparison of the energy consumption of the HVAC systems.

ÍNDICE

- I. MEMORIA
- II. ANEXOS
- III. PRESUPUESTO

I. MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	12
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	13
1.3 NORMATIVA APLICADA.....	14
1.4 FUNDAMENTOS DEL FREE COOLING.....	17
1.5 ESTADO DEL ARTE DEL FREE COOLING.....	19
1.5.1 MERCADO.....	23
1.5.2 APLICACIONES CON ÉXITO	24
1.6 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO	25
1.7 PREMISA DE DISEÑO	26
1.7.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS EXTERIORES	26
1.7.2 CONDICIONES INTERNAS	28
1.7.3 CARGAS INTERNAS.....	29
1.8 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS.....	29
1.8.1 CÁLCULO DE CARGAS SENSIBLES.....	30
1.8.2 CÁLCULO DE CARGAS LATENTES	33
Capítulo 2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	35
2.1 UNIDAD EVAPORADORA	36
2.2 UNIDAD CONDENSADORA.....	37
2.3 DISEÑO DE PLÉNUM	39
2.4 DISEÑO DE LA RED DE LÍNEAS FRIGORÍFICAS.....	40
2.5 DISEÑO DE RED DE CONDUCTOS.....	41
Capítulo 3. CÁLCULOS	42
3.1 CARGAS TÉRMICAS	42
3.2 CAUDAL DE AIRE IMPULSADO	45
Capítulo 4. SELECCIÓN DE EQUIPOS	46
4.1 UNIDAD EVAPORADORA	46
4.2 UNIDAD CONDENSADORA.....	46

Capítulo 5. ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y ROI	47
Capítulo 6. CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA.....	65

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo que persigue este proyecto es el estudio y presupuesto para la sustitución de la instalación de climatización por la metodología free cooling en un centro de procesamiento de datos (CPD) situada en la c/ Ana Mariscal, 5, 28223 Pozuelo de Alarcón, Madrid. Esta sala cuenta con un CPD de 150 metros cuadrados y posteriormente, se realizarán todos los cálculos para la potencia frigorífica necesaria.

La metodología a emplear para llevar a cabo el cometido de este proyecto será el free cooling, una estrategia de climatización de lo más novedosa en este sector la cual consiste en el aprovechamiento de la temperatura del aire exterior para enfriar o refrigerar un espacio, en este caso un CPD el cual puede registrar temperaturas de hasta 50 °C sin un sistema de climatización de precisión.

El free cooling se trata de un sistema de lo más atractivo en cuanto a desempeño y, sobre todo, en las circunstancias en las que se encuentra la industria en esta crisis de escasez de recursos energéticos, en eficiencia energética. El free cooling, como se ha mencionado antes, extrae el aire del exterior, lo filtra y lo emplea posteriormente para introducirlo en sala; a su vez recoge una pequeña parte del aire de retorno procedente de la sala para realizar una ventilación efectiva y logrando una mayor calidad de aire en el interior. Este mezclado de aire permite también la regulación de temperatura en el caso de que el aire exterior este más frío que la temperatura de consigna del aire impulsado. El recorrido que tiene el aire se muestra a continuación en la *Figura 1*.

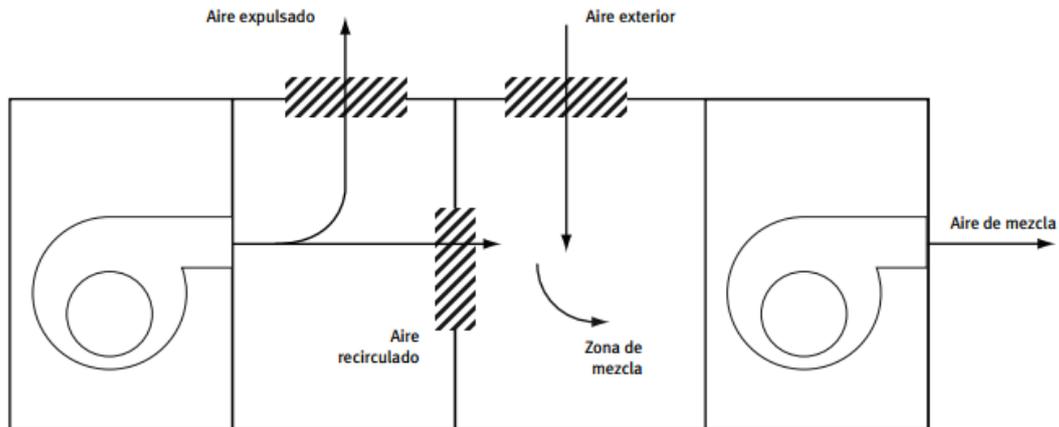


Figura 1. Esquema de funcionamiento del free cooling

Para ver de una forma más clara el funcionamiento del free cooling mediante el esquema de la *Figura 1* se podría decir que el extremo derecho de la figura es la parte inferior de la unidad evaporadora y el extremo izquierdo, el conducto de extracción de aire caliente procedente de los equipos TI de la sala. El aire recirculado que se dirige a la zona de mezclado pasa a través de una compuerta motorizada programada acorde a la temperatura de consigna del equipo de refrigeración.

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Es bien sabido que toda industria busca la eficiencia energética para sus centros de operación o ejes de actividad y, específicamente, los centros de proceso de datos que requieren una climatización constante llevan un consumo muy elevado además del originado por los equipos de tecnologías de la información y otros elementos involucrados en este tipo de instalaciones. Por ello, el free cooling juega un papel importante en la climatización de este tipo de salas por varias razones.

En primer lugar, el consumo de energía que llevan a cabo todos los centros de proceso de datos supone unos 450-470 TWh anuales lo que lo convierte en 3,5% de la energía mundial, lo cual tiene que verse reducido ya que llegará un momento en los que haya tanta información que computar, almacenar y distribuir que este tipo de instalaciones

acabarán resultando altamente improductivas por la cantidad ingente de energía que se consumiría anualmente. El free cooling ofrece la solución para este problema debido a la minimización del uso del compresor de los equipos de refrigeración de precisión en los meses de la época invernal principalmente logrando reducir el consumo por parte de la instalación de climatización en más de un 50%. Por otro lado, el reto medioambiental al que se enfrenta la climatización es la reducción de emisiones de CO₂, lo cual logra con creces gracias a la ventilación forzada intrínseca en el funcionamiento del free cooling.

Por último, gracias a la eficiencia energética y la reducción de emisiones, que son los aspectos más preocupantes en estas instalaciones, el free cooling se ha convertido en un imprescindible dentro del marco de las tecnologías de la información y la eficiencia energética.

1.3 NORMATIVA APLICADA

La normativa a aplicar tanto para la instalación como para el suministro de equipos y material necesario entrará dentro del marco legal vigente expuesta a continuación:

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Térmicas Complementarias, aprobadas por el Real Decreto 1751/1998 de 31 de Julio.
- Norma Básica NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en Edificios, aprobada por el Real Decreto 2429/79 de 6 de Julio de 1979.
- Normas Tecnológicas del Ministerio de la Vivienda (NTE-ISV/1975 sobre construcción de conductos de evacuación y chimeneas (B.O.E. de 5 y 12 de Julio de 1975).
- Real Decreto 1630/1992 por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva del Consejo 89/106/CEE.

- Real Decreto 275/1995 de 24 de febrero por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 94/42/CEE, modificada por el artículo 12 de la Directiva del Consejo 93/68/CEE.
- Directiva del Consejo 93/76/CEE referente a la limitación de las emisiones de dióxido de Carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE).
- Real Decreto 1428/1992 de 27 de noviembre que aprueba las disposiciones de aplicación de la directiva 90/396/CEE sobre aparatos de gas.
- Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre en el que se aprueba la NBE-CPI/96 sobre Condiciones de Protección contra Incendios de los Edificios.
- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, aprobado por Real Decreto 2414/1961 de 30 de noviembre.
- Ley de Prevención de Riesgos Laborales aprobada por Real Decreto 31/1995 de 8 de noviembre y la Instrucción para la aplicación de la misma (B.O.E. 8/3/1996).
- Orden de 12/1/1998 de la Consejería de Industria, Turismo, Trabajo y Comunicaciones sobre requisitos adicionales de Instalaciones de gas en locales destinados a uso doméstico, colectivos o comercial.
- Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones petrolíferas, aprobado por Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre y sus instrucciones técnicas complementarias MI-IP 03, aprobada por el Real Decreto 1427/1997, de 15 de septiembre, y MI-IP 04 aprobada por el Real Decreto 2201/1995, de 28 de diciembre.

Por último, todas las normas UNE y la CEE a las que se hace referencia en el RITE y que se citan a continuación:

- UNE 53394:1992 IN Materiales plásticos. Código de Instalación y manejo de tubos PE para conducción de agua a presión. Técnicas recomendadas.
- UNE 53399:1993 IN Plásticos. Código de Instalaciones y manejo de tuberías de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para la conducción de agua a presión. Técnicas recomendadas.

- UNE 53495:1995 IN Materiales plásticos. Código de instalación de tubos de polipropileno copolímero para la conducción de agua fría y caliente a presión. Técnicas recomendadas.
- UNE 60.601: 2000 Instalación de calderas a gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico superior a 70 kW.
- UNE 74105-1:1990 Acústica. Métodos estadísticos para determinación y verificación de los valores de emisión acústica establecidos para máquinas y equipos. Parte 1: Generalidades y definiciones.
- UNE 74105-2:1991 Acústica. Métodos estadísticos para determinación y verificación de los valores de emisión acústica establecidos para máquinas y equipos. Parte 2: Métodos para valores establecidos para máquinas individuales.
- UNE 74105-3:1991 Acústica. Métodos estadísticos para determinación y verificación de los valores de emisión acústica establecidos para máquinas y equipos. Parte 3: Método simplificado (provisional) para valores establecidos para lotes de máquinas.
- UNE 74105-4:1990 Acústica. Métodos estadísticos para determinación y verificación de los valores de emisión acústica establecidos para máquinas y equipos. Parte 4: Métodos para valores establecidos para lotes de máquinas.
- UNE 100000:1995 Climatización. Terminología.
- UNE 100000/1M:1997 Climatización. Terminología.
- UNE 100001:1985 Climatización. Condiciones climáticas para proyectos.
- UNE 100002:1988 Climatización. Grados-día base 15 grados C.
- UNE 100010-1:1989 Climatización. Pruebas para ajuste y equilibrado. Parte 1: Instrumentación.
- UNE 100010-2:1989 Climatización. Pruebas para ajuste y equilibrado. Parte 2: Mediciones.
- UNE 100010-3:1989 Climatización. Pruebas para ajuste y equilibrado. Parte 3: Ajuste y equilibrado.
- UNE 100014:1984 Climatización. Bases para el proyecto. Condiciones exteriores de cálculo.

1.4 FUNDAMENTOS DEL FREE COOLING

El free cooling trata de aprovechar el bajo contenido de entalpía del aire exterior para la refrigeración de un espacio determinado. El sistema completo se compone de cinco elementos fundamentales:

- Equipos de aire acondicionado de precisión con un ventilador radial necesario para la aspiración de aire del exterior para impulsarlo en la sala.
- Ventiladores para la extracción de aire caliente de sobrepresión de la sala.
- Compuertas motorizadas para la función de retorno de aire a los equipos.
- Filtración de aire procedente del exterior.
- Sistema de control de humedad y temperatura.

Dentro del mundo de la refrigeración existen dos tipos de free cooling: directo e indirecto. El free cooling directo se basa en la aspiración del aire exterior e introducirlo directamente en el espacio a refrigerar. Para ello es necesario acondicionarlo mediante la filtración de partículas sólidas, tratamiento antibacteriano o dilución de agentes químicos dependiendo de los requerimientos del proyecto. Finalmente, un tratamiento para regular la humedad que contiene el aire para poder ser aplicado como fuente de refrigeración en un ambiente crítico, en el caso de un centro de procesamiento de datos el tratamiento a realizar será la de filtración de partículas sólidas y tratamiento del nivel de humedad. Por otro lado, está el free cooling indirecto el cual se caracteriza por el empleo de agua fría para realizar el intercambio de calor. Este modelo de free cooling utiliza una unidad de tratamiento de aire (UTA) que recibe el agua y la enfría mediante una enfriadora ubicada en la cubierta, cuenta con una serie de elementos muy parecidos a los que pueda tener una unidad evaporadora de free cooling directo, es decir, dos

compresores, filtros de aire, ventiladores y un serpentín por el que circula el agua, como se observa en la *Figura 2*.

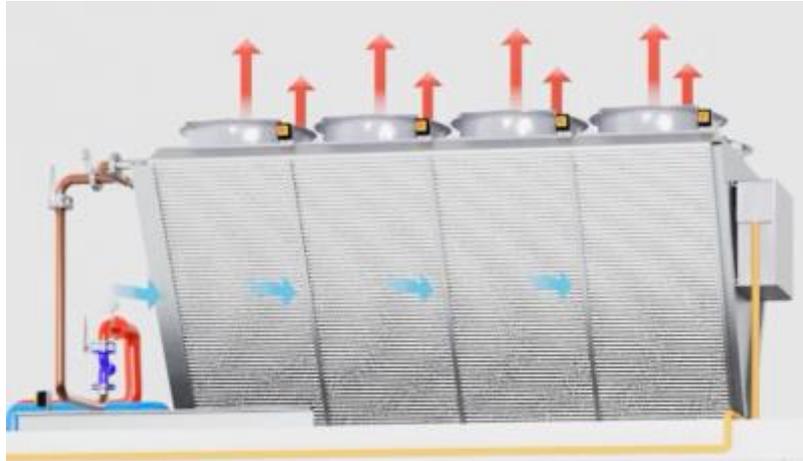


Figura 2 Enfriadora de aire free cooling

El modelo de free cooling que va a implementar el presente proyecto es el free cooling directo debido a que se logra un mayor rendimiento y no depende de tantas variables para el correcto funcionamiento a diferencia de la implementación del free cooling indirecto que debido a sus características de construcción y la naturaleza de los elementos a emplear el rendimiento puede variar entre el 60% y el 90%, aspecto el cual un ambiente tan crítico como es un CPD no se puede permitir.

Durante el funcionamiento del sistema de free cooling se pueden dar las siguientes situaciones:

- La temperatura exterior es menor que la temperatura del aire de impulsión. En este caso se hará uso de las compuertas y los ventiladores para introducir el aire desde el exterior y mezclarlo con el aire recirculado obteniendo de esta forma la temperatura deseada. $T_e < T_i$
- La temperatura exterior es mayor que la de impulsión, pero menor que la del aire recirculado. Ante esta situación las enfriadoras han de rebajar la temperatura del aire exterior hasta igualar la temperatura de impulsión.

- La temperatura del exterior es mayor que la temperatura de retorno. Este caso se suele dar en los meses de la época estival con lo cual la sala se ha de refrigerar empleando el sistema de aire acondicionado convencional.

Por último, a continuación, se exponen las ventajas e inconvenientes que presenta este sistema de climatización:

- **Ventajas:**
 - Es posible realizar una ventilación efectiva de toda la sala junto con free cooling.
 - Como todo sistema de refrigeración, realiza una distribución homogénea de aire frío en la sala.
 - Con el objetivo de reducir las cargas térmicas de forma rápida y efectiva, es posible programar ventilación-refrigeración nocturna.
 - La eficiencia energética que logra el free cooling supera cualquier sistema de climatización.
- **Desventajas:**
 - Requiere de ventiladores, compuertas motorizadas, filtros y un sistema de conductos de distribución completamente estancos para que la eficiencia del sistema en conjunto sea de máximo nivel.
 - Requiere un mínimo consumo de energía, no es totalmente gratuito.
 - El éxito de este método depende en gran parte por su sistema de control utilizado para gestionar la entrada y mezcla del aire exterior.

1.5 ESTADO DEL ARTE DEL FREE COOLING

El desarrollo del mundo de la refrigeración avanza conforme lo hacen las demás tecnologías. Anteriormente en los inicios de este sector IT se utilizaban equipos de confort para refrigerar estas salas, sin embargo, esto resultaba altamente ineficiente ya que estos equipos logran enfriar una zona que a un coste muy elevado debido a que se

tenían que instalar muchos para poder refrigerar correctamente los bastidores que contienen los servidores y les llegue suficiente aire refrigerado evitando el sobrecalentamiento de estos. En la actualidad se emplean equipos de precisión en formato armario como los de Emerson o Schneider como se muestran a continuación :



Figura 3. Emerson Vertiv Precision AC Unit



Figura 4. Schneider Precision AC Unit

Estas unidades pueden llegar a un caudal de impulsión de más de $2 \text{ m}^3/\text{s}$. La metodología que hoy en día se emplea para hacer llegar el aire frío a cada uno de los racks es por impulsión por falso suelo. Este armario se ubica en sala para poder hacer los ajustes necesarios para que se adapte a los requerimientos de la sala, como puede ser el caudal de aire impulsado, la diferencia de temperatura entre el aire y la sala o la temperatura a partir de la cual debe comenzar a funcionar el condensador, ya que estos equipos están en constante funcionamiento. La parte inferior del equipo se posiciona bajo el falso suelo y gracias a un deflector logra impulsar horizontalmente el aire para que pueda salir

a través de las rejillas del suelo. A continuación, se muestra mediante la *Figura 9* el método habitual actualmente utilizado:

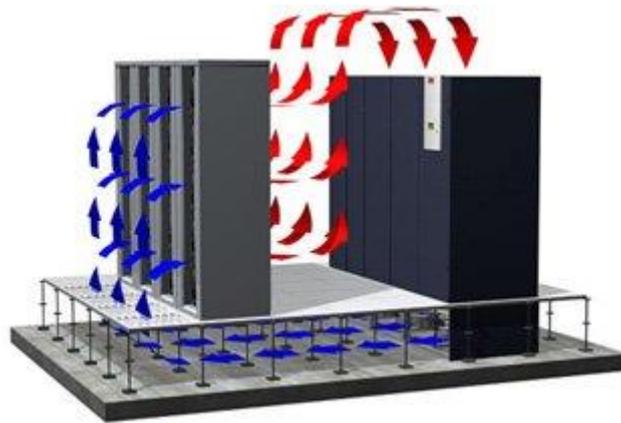


Figura 5. Climatización por impulsión de falso suelo

Este avance en la metodología para refrigerar estos centros definitivamente es eficiente térmicamente, sin embargo, el precio que hay que pagar por ello es demasiado elevado. Por ello, los principales retos que se le presentan a los centros de procesamiento de datos es reducir al máximo los costes operativos y satisfacer las preocupaciones ambientales ya que muchos sectores no pueden permitirse el tiempo fuera de servicio de estos centros.

El free cooling aborda casi por completo la reducción de costes ya que se basa en una refrigeración de forma “gratuita” aprovechando las bajas temperaturas del exterior para introducirla en la sala y así evitar el gran consumo que genera el condensador de estos equipos y pasarían a funcionar en el modo de solo ventilación en vez de aire refrigerado. Este es uno de los factores que hacen más eficiente energéticamente un data center ya que puede llegar a reducir hasta 1,2 su PUE (Power Usage Effectiveness) un indicador de eficiencia que calcula el consumo total de energía entre el consumo de los equipos IT. A lo largo de estos últimos años se ha reducido notablemente la PUE gracias a un diseño mejorado de la instalación tanto eléctrica como de climatización evitando así el mínimo número de redundancias. Las mejoras se pueden observar en los siguientes gráficos que muestran el consumo sin la metodología del free cooling y con esta en aplicación.

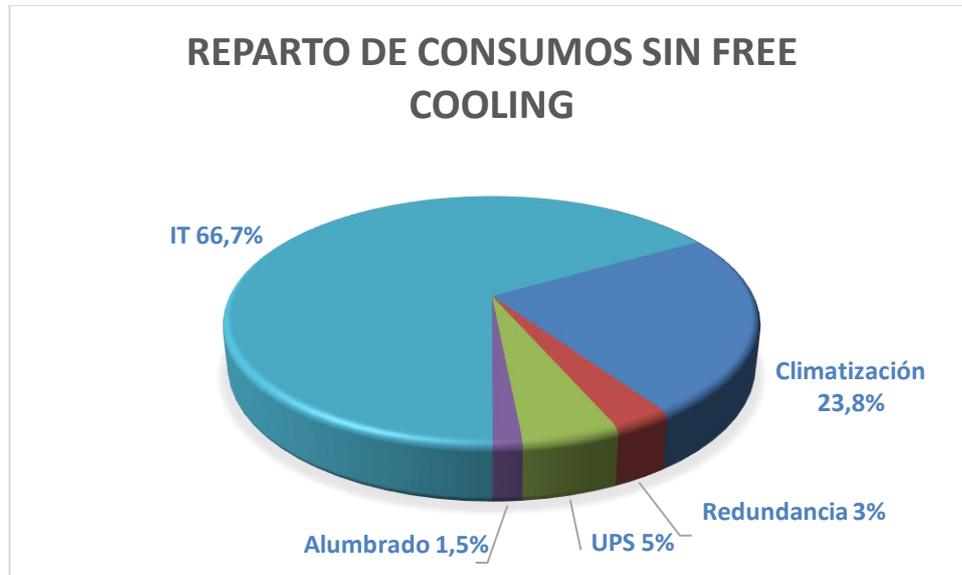


Gráfico 1. Reparto de consumos sin free cooling

Los datos recopilados que se muestran mediante el *Gráfico 1* ofrecen una visión de que, sin la implementación del free cooling, el consumo de energía que tiene la climatización ininterrumpida de un centro de procesamiento de datos supone una cuarta parte del consumo global de este tipo de ambientes. Esto es algo que hoy en día no resulta viable debido al constante encarecimiento de los recursos renovables, como es la electricidad, debido a la transición de una sociedad de consumo a una de renovación.

Seguidamente se ve reflejado en el *Gráfico 2* cómo se repartiría el consumo eléctrico de un centro de datos cuyo sistema de refrigeración está dotado de la tecnología free cooling ahorrando costes en todos los aspectos.

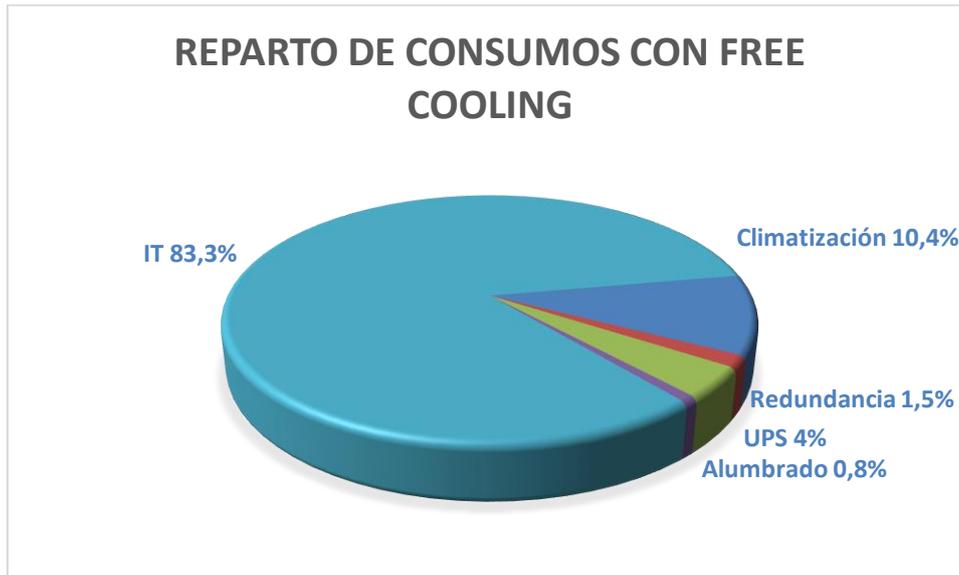


Gráfico 2. Reparto de consumos con free cooling

Debido al auge del sector de las tecnologías de la información es de vital importancia lograr un PUE lo más cercano a la unidad posible ya que a medida que vaya transcurriendo el tiempo se irán ampliando estos centros de proceso de datos y requiriendo cada vez más consumo energético. Por ello la metodología es una gran apuesta para acercarse al objetivo de la eficiencia energética.

1.5.1 MERCADO

El principal mercado objetivo que tiene esta tecnología es el de los centros de procesamiento de datos, ya que estas salas generan una gran cantidad de calor pudiendo ponerse a temperaturas superiores a los 50 °C debido a los racks de servidores que conforman el núcleo de estos centros. Es la metodología que está ahora mismo de moda en el sector y muchos CPD se están cambiando a este sistema de refrigeración, sobre todo, porque en un futuro se realizará una ampliación de este. Lo que más atrae a este sector es la eficiencia energética ya que haciendo el mismo trabajo que con un sistema convencional el consumo, sobre todo en los meses del año en los que la temperatura exterior es inferior a la del interior de la sala, se logra un consumo visiblemente menor.

El free cooling también se aplica para lugares cerrados en los que en determinado momento se puede ver concurrido como recintos feriales, salones de congresos, restaurantes, cines, teatros, auditorios, edificios de oficinas... El free cooling tiene diversas aplicaciones, pero la más utilizada es en data center.

1.5.2 APLICACIONES CON ÉXITO

En el presente capítulo se comentan algunos casos en los que la tecnología del free cooling ha sido implementada con éxito pudiendo ver notables diferencias en el consumo energético y las emisiones que la refrigeración produce.

1.5.2.1 BANCO DE LA NACIÓN

El día 12 de diciembre de 2015 se inaugura el primer centro de datos en de Perú ubicado en la capital del país, Lima. A parte de ser el primer centro de datos lo hace con la tecnología más avanzada y eficiente de la refrigeración de salas técnicas. Este proyecto de climatización viene promocionado por el líder en climatización técnica e industrial Emerson. La sala se extiende hasta los 823 m² y una carga IT de 270 kW. Está ubicado en la nueva sede del Banco de la Nación y la empresa a la que se le asignó la obra de ingeniería y la implementación de las tecnologías de la información fue Cosapi Data S.A. que, junto con Emerson lograron la construcción del data center y la implementación de la tecnología free cooling.

1.5.2.2 SALA DAS CELLNEX

Cellnex es una compañía cuya principal función se desarrolla en los servicios e infraestructuras de telecomunicación inalámbricas. El acrónimo DAS se refiere a los Sistemas Distribuidos de Antena y en este tipo de salas se encuentran servidores de telecomunicaciones como los de las compañías telefónicas. En España tiene tres

proyectos de free cooling, lo que les ha permitido ahorrar 5.083.256 kWh lo que representan 1.999,48 Tn equivalentes en CO₂. La primera experiencia de Cellnex en la implementación del free cooling fue en Italia lo que le permitió reducir el consumo de los equipos de refrigeración en un 40% en condiciones climáticas favorables.

1.6 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

El edificio que alberga la sala del objeto de estudio de este proyecto se trata de un edificio de oficinas situado en la Comunidad de Madrid.

La sala a climatizar se encuentra en el sótano del emplazamiento y cuenta con dos muros interiores y otros dos exteriores, estos dos últimos se aprovechan de la posición que tiene la sala ya que, al estar en el sótano, el cual da acceso al aparcamiento de coches, cuenta con la protección del techo contra la radiación solar y será beneficioso en cuanto a las cargas térmicas; también se utilizarán para la extracción e introducción de aire. Se detalla en el plano del capítulo de *Anexos*. El centro de datos consta de dos zonas, la antesala y la sala de los equipos IT. En la antesala se encuentran los 4 armarios que componen el Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) de 240kW de potencia y los cuadros eléctricos, las dimensiones de esta es de 10 de largo por 5 de ancho por 3 metros de alto. La sala técnica cuenta con 48 bastidores de equipos TI refrigerados por equipos In-Row por pasillo frío a 21,2 °C, las dimensiones con las que cuenta son de 10 metros de ancho por 15 metros de largo por 5 metros de alto.

1.7 PREMISA DE DISEÑO

1.7.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS EXTERIORES

La zona donde se sitúa el centro de proceso de datos es Pozuelo de Alarcón, municipio de la Comunidad de Madrid, la cual tiene una severidad climática de tipo D3 correspondiente a la altitud sobre el nivel del mar a que se encuentra dicho municipio.

La severidad climática se trata de una clasificación de las distintas zonas climáticas de España que tiene en cuenta tanto las condiciones de verano como las de invierno. Los valores que adopta este indicador vienen dados por una letra que representa las condiciones invernales y por un número correspondientes a las estivales. Este criterio se tiene en cuenta tanto para instalaciones en edificaciones de calefacción como de refrigeración y viene establecido por el *Código Técnico de Edificación en el documento básico de Ahorro de Energía DB H1 de Condiciones para el control de demanda energética*. El criterio que sigue viene recogido en la *Tabla 1*:

Severidad climática		- VERANO +			
		1	2	3	4
+ INVIERNO -	A			A3	A4
	B			B3	B4
	C	C1	C2	C3	C4
	D	D1	D2	D3	D4
	E	E1			

Tabla 1. Severidad climática

Como se ha mencionado anteriormente la severidad climática del emplazamiento es de tipo D3 lo cual se traduce en que la zona sufre unas épocas de invierno frías sin llegar a bajar las temperaturas de -5°C y unas épocas de verano cálidas. Esto es, en conclusión, que las condiciones climatológicas de Madrid se pueden considerar ligeramente extremas debido a la variación de temperatura a lo largo del año.

A la hora de realizar una instalación de estas características se precisa el conocimiento de las condiciones climatológicas exteriores. En este caso, al tratarse exclusivamente de una instalación de refrigeración, se tendrá en cuenta el momento más caluroso del año en la Comunidad de Madrid.

Los datos escogidos a continuación, vienen recogidos en el *IDAE Condiciones climáticas exteriores de proyecto, en el apartado 6 de Datos de Estaciones*. La información elegida corresponde al Aeródromo situado en Cuatro Vientos en Madrid (indicativo nº 3196), su posición es la siguiente:

Latitud: $40^{\circ} 22' 40''$

Longitud: $03^{\circ} 47' 41''\text{W}$

Altura sobre el nivel del mar: 687 metros

Las condiciones de temperatura y humedad se recogen en la *Tabla 2*:

Temperatura seca	Humedad relativa
34,8	36%

Tabla 2. Condiciones de Proyecto de Refrigeración

Con estos parámetros exteriores se trabajará para determinar el funcionamiento de las unidades evaporadoras en las condiciones de verano.

1.7.2 CONDICIONES INTERNAS

1.7.2.1 *Condiciones psicrométricas*

Para obtener un nivel de confort para el operador y de fiabilidad del sistema óptimo, el intervalo de temperaturas que debe tomar la sala es de 21 y 23 °C. El rango de la temperatura a la que puede trabajar un equipo es muy amplio, pero para ayudar a mantener el nivel de humedad relativa en el ambiente lo más aconsejable es que la temperatura sea lo más cercana a los 22 °C posible. Además, se crea un margen de seguridad en caso de fallo de los equipos de refrigeración.

La humedad relativa ambiente que más favorece las operaciones de procesamiento de datos es de entre 45% y 50%. Dependiendo de las circunstancias, los equipos de procesamiento de datos pueden trabajar bajo un intervalo de humedad relativa bastante amplio, entre un 20% y un 80%, pero se recomienda mantener el nivel de 45-50% debido a los siguientes factores:

- Contribuye a la prevención de corrosión de los equipos informáticos debido a niveles de humedad muy elevados.
- En caso de un fallo en el sistema de climatización, abre las puertas a un mayor margen de tiempo para el funcionamiento de los equipos informáticos.
- Contribuye a evitar errores o fallos de funcionamiento temporales producidos por intermitencias que pueden originar descargas electrostáticas debido a un nivel de humedad relativa bajo.

Estas descargas electrostáticas se producen con mayor facilidad y son más difíciles de evitar cuando la humedad del ambiente se encuentra por debajo del 35%. En el momento en que la humedad desciende del 30% la situación se torna crítica.

1.7.3 CARGAS INTERNAS

El interior de un CPD al no albergar actividad humana de forma regular, simplemente cuando existe la necesidad de hacer mantenimiento o instalación de nuevos equipos tanto de climatización como IT, las cargas producidas por la actividad humana se obviarán y se centrará en torno a los servidores que se encuentran en sala.

1.8 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

A la hora de realizar una instalación climatológica es necesario realizar el estudio y cálculo de las cargas térmicas del edificio. Se conoce como cargas térmicas a la cantidad de energía que necesita un área para conservar o conseguir unas condiciones específicas de temperatura y humedad.

En este sentido se pueden clasificar según la repercusión que causa en el aire del interior de una sala:

- Cargas térmicas sensible: aquellas que producen una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: las que ocasionarán una variación de la humedad absoluta del ambiente.

Según la procedencia de las cargas térmicas que se producen dentro de un data center se pueden distinguir dos grupos:

- Procedentes del ambiente exterior:
 - Cargas a través de cerramientos.
 - Cargas a través de superficies acristaladas, ventanas y claraboyas.
 - Cargas introducidas a través de ventilación.
 - Cargas debidas a infiltraciones.
 - Orientación del edificio
- Procedentes del interior de la sala:

- Cargas de iluminación.
- Cargas generadas por los equipos IT.
- Cargas de los equipos de refrigeración.

1.8.1 CÁLCULO DE CARGAS SENSIBLES

Para determinar la carga sensible, que se denominará Q_s , se hace uso de la siguiente fórmula:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai}$$

Tomando los demás valores los siguientes tipos de carga:

Q_{sr} : Carga sensible ocasionada por la transmitancia a través de cerramientos traslúcidos o acristalados.

Q_{str} : Carga sensible por transmisión a través de muros y techos exteriores.

Q_{st} : Carga sensible por transmisión a través de paredes, suelos, techos y puertas interiores.

Q_{si} : Carga sensible por transmisión de filtraciones de aire exterior.

Q_{sai} : Carga sensible por aportaciones internas.

Cada uno de estos valores se desarrollan según sus distintas maneras de calcularse que se exponen a continuación excepto la carga sensible producida por la transmitancia a través de superficies acristaladas ya que, la sala, al carecer de este tipo de huecos se reduce su valor a nulo (Q_{sr}).

La carga sensible transmitida a través de cerramientos exteriores se calcula a partir del coeficiente global de transmisión térmica, que recibe el nombre de transmitancia térmica, junto con la superficie del muro expuesto y la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de este. El tipo de transmisión de calor que se produce a través de cerramientos se denomina conducción. La fórmula para calcular la carga térmica es la siguiente:

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

donde K corresponde a la transmitancia térmica por cerramientos exteriores expresado en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$, S a la superficie del cerramiento expresado en metros cuadrados y T_e y T_i a las temperaturas exterior e interior respectivamente ($^\circ C$). Para los valores que toman las temperaturas, especialmente para la temperatura exterior del cerramiento, se tomará un valor denominado temperatura exterior de cálculo (T_{ec}). Este valor que adopta esta variable se calcula a partir de la temperatura exterior de diseño (T_e) que a su vez se calcula con la temperatura máxima del mes más cálido y la temperatura media del mismo y siguiendo la siguiente fórmula se podrá establecer una temperatura exterior teniendo en cuenta la temperatura máxima dentro del mes más cálido:

$$T_e = 0,4 \cdot T_m + 0,6 \cdot T_{m\acute{a}x}$$

Por último, para obtener la temperatura exterior de cálculo es necesario tener en cuenta la orientación que tiene el edificio y se calcula en función de esta siguiendo el criterio expuesto en la *Tabla 2*:

Orientacion	Temperatura exterior de cálculo
Norte	$0,6 \cdot T_e$
Sur	T_e
Este	$0,8 \cdot T_e$
Oeste	$0,9 \cdot T_e$
Cubierta	$T_e + 12$
Suelo	$(T_e + 15)/2$
Muros interiores	$T_e \cdot 0,75$

Tabla 3. Temperatura exterior de cálculo según la orientación

En el cálculo de la carga térmica por transmisión de cerramientos interiores (Q_{st}) se emplea la misma fórmula solo que se omite la temperatura exterior de cálculo y se toma la temperatura exterior que limita con el cerramiento del local.

La carga por infiltraciones de aire exteriores adopta la siguiente fórmula:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e \text{ aire}} \cdot \Delta T$$

donde,

V : es el caudal de aire infiltrado y ventilación medido en m^3/s .

ρ : corresponde a la densidad del aire, tomando el valor de $1,18 \text{ kg}/m^3$.

$C_{e \text{ aire}}$: el calor específico del aire cuyo valor es de $1012 \text{ J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

ΔT : es la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior del local ($^\circ\text{C}$).

Para acabar con las cargas sensibles, está la ganancia de carga sensible debido a aportaciones internas del local y su cálculo consiste en la suma de tres cargas: la carga generada por la iluminación interior del local, la carga generada por las tecnologías de

la información y/o electrodomésticos y la generadas por las personas ocupando el local. Esta última al tratarse de un centro de procesamiento de datos, el nivel de ocupación humano será el mínimo posible, de este modo, se obviarán las cargas generadas por este medio.

Las cargas sensibles originadas por la iluminación interior del local se dividen en la iluminación incandescente y la fluorescente, al solo tener instalada esta última en la sala no se tendrá en cuenta la incandescente. Por tanto, la única fórmula a emplear sería la siguiente:

$$Q_{\text{sil}} = 1,25 \cdot n \cdot \text{Pot}_{\text{lamp}}$$

Siendo n el número de lámparas y Pot_{lamp} su potencia en vatios.

Finalmente, la carga térmica de los equipos IT resultaría en la potencia total instalada medida en vatios.

1.8.2 CÁLCULO DE CARGAS LATENTES

En el cálculo de cargas latentes se emplearán dos tipos de fórmulas: la carga latente debido a infiltraciones y ventilación de aire exterior y la carga latente debido al nivel de ocupación. Esta última, al no tener un nivel de ocupación humano si no de equipos IT se calculará en función del calor latente procedente de ellos por el número de estos equipos.

La fórmula que se emplea para la carga latente por infiltraciones y ventilación de aire exterior, denominada Q_{li} , es muy similar a la carga sensible por infiltraciones de aire exterior. La diferencia entre ambas es el calor específico que se cambia por el del agua, con un valor de 2257 kJ/kg, y la diferencia de temperatura se cambia por la de humedad absoluta. Resultando de la siguiente manera:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l\text{ agua}} \cdot \Delta w$$

El calor latente por nivel de ocupación la cual se define por Q_{lp} y viene dada de la siguiente manera:

$$Q_{lp} = n C_{l\text{ equipo}}$$

Esta última ecuación se obviará debido a que el calor desprendido por los equipos es en forma de aire seco, por tanto, no existe calor latente para el su cálculo.

Por otro lado, se tiene el nivel de ocupación humano en la sala, que al ser un local en el que la actividad humana es mínima, únicamente para el mantenimiento de los equipos tanto los de refrigeración como los IT.

El cálculo total restaría en sumar los dos valores hallados de Q_{li} y Q_{lp} .

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp}$$

Capítulo 2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

El diseño de la instalación se centrará en la climatización de una sala dedicada al procesamiento de datos y se realizará de manera que se mantenga la temperatura actual dentro del pasillo frío, es decir de 21,2 °C.

Primero, se ha de hacer la selección cuidadosa de los equipos de forma que contrarresten las cargas en la sala. Los equipos seleccionados se tratan de unidades de aire acondicionado de precisión las cuales logran una impulsión de caudal adecuadas para hacer llegar el aire frío a los servidores con facilidad a través de las rejillas del suelo técnico.

Segundo, el diseño de la red de líneas frigoríficas que abastecerán de agua fría las unidades de aire acondicionado, con un desnivel del 1% en tramos horizontales a favor de la condensadora en la línea de gas y un sifón en cada tramo vertical y por cada 5 metros verticales.

Tercero y último, el diseño del plenum que se instalará sobre las unidades para la introducción de aire exterior en ellas con sus correspondientes filtros de aire y rejillas para obtener el aire de retorno del que ya se encuentra dentro de la sala para poder realizar el ciclo completo del free cooling.

2.1 UNIDAD EVAPORADORA

Los equipos más utilizados en un centro de procesamiento de datos de calidad son las unidades de aire acondicionado de precisión, estos equipos están diseñados en forma de armario de manera que la entrada de aire se realice por la parte superior y la impulsión del aire refrigerado por la parte de inferior a través del suelo técnico que a su vez llega a los equipos IT a por medio de las rejillas instaladas en las baldosas del falso suelo de la sala evitando el mezclado de aire caliente y aire refrigerado estableciendo una eficiencia térmica adecuada.

El interior de estos equipos consta de tres partes. La primera, comenzando por la parte superior están los filtros antipolvo para cerciorar que no se introduce ningún tipo de partícula procedente del exterior ni en la sala ni en el interior de los equipos IT.

Seguidamente se encuentra el serpentín evaporador por el que circula una mezcla de gas y líquido a baja presión del refrigerante procedente de las unidades condensadoras de la cubierta.

El siguiente componente que se haya en orden descendiente son los dos compresores de scroll que se caracteriza por su gran eficiencia energética y confiabilidad, cuenta con un funcionamiento silencioso y un tamaño compacto y cómodo para su instalación y mantenimiento en el interior de estos equipos.

Por último, se encuentra el ventilador de la evaporadora centrífugo o coaxial, dependiendo del modelo, que absorbe el aire exterior y que a su vez impulsa el aire a través del suelo técnico.

Estos son los componentes principales de este tipo de equipos, a parte de estos también se puede ver el receptor de líquido, el humidificador y distintas válvulas como la de expansión a la salida del receptor de líquido procedente del condensador y la válvula de seguridad que hace disminuir la presión del refrigerante que llega al receptor.

A continuación, la *Figura 3* presenta gráficamente el interior del equipo mostrando todos los componentes:

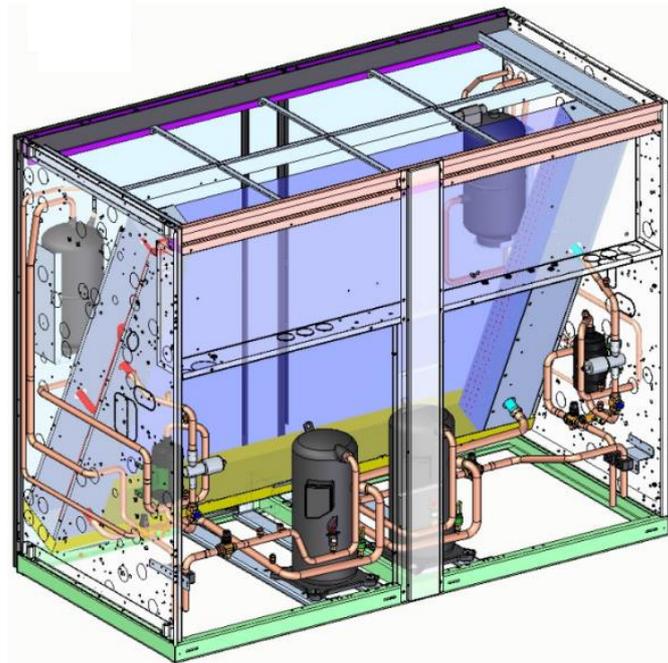


Figura 6. Estructura interna de la unidad evaporadora

2.2 UNIDAD CONDENSADORA

La unidad condensadora se sitúa en la cubierta para la disipación del calor que transportan las tuberías. Estos equipos exteriores cuentan con dos ventiladores de gran tamaño de palas coaxiales y una entrada y salida de gas refrigerante.

La conexión que existe entre la unidad evaporadora y la unidad condensadora constituyen el sistema completo del ciclo de aire acondicionado y tiene las siguientes características:

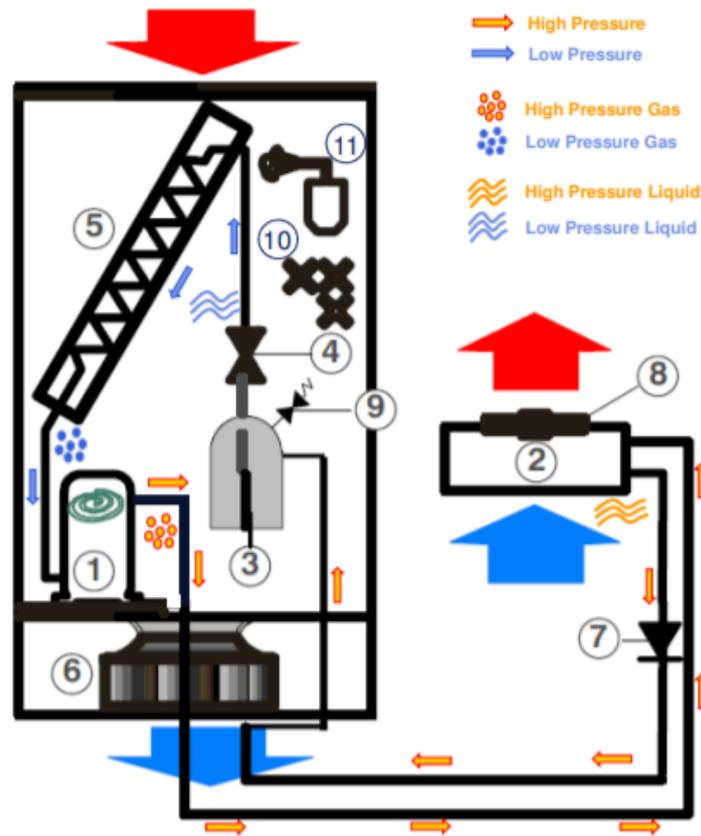


Figura 7. Esquema de distribución de equipos y su conexión

El número correspondiente a cada componente se detalla a continuación:

1. Compresor
2. Condensador
3. Receptor de refrigerante a alta presión.
4. Válvula de expansión

5. Serpentín evaporador
6. Ventilador de impulsión
7. Válvula antirretorno
8. Ventilador coaxial del condensador
9. Válvula de seguridad
10. Calentadores eléctricos
11. Humidificador

Los calentadores eléctricos son usados para la regulación de la temperatura y actúan en función de la información recibida a través de la sonda situada en la sala.

2.3 DISEÑO DE PLÉNUM

Para lograr la extracción de aire exterior es necesaria la instalación de un plenum sobre las unidades evaporadoras. Cuando se habla de un plenum se refiere a una zona cerrada por la que circula el aire a una presión ligeramente superior a la atmosférica.

La finalidad que tendrá este espacio cerrado será la de contener el aire que las unidades evaporadoras aspiran a su interior para impulsarlo posteriormente al ambiente de la sala. Este plenum, conectará todas las unidades evaporadoras al exterior y tendrá una conexión con los conductos de extracción para la obtención del aire caliente de retorno mediante una compuerta motorizada que regulará tanto la temperatura como la humedad del aire que se impulsa a los equipos IT.

A continuación, mediante la *Figura 5* se muestra de forma más gráfica una instalación parecida a la que se plantea:

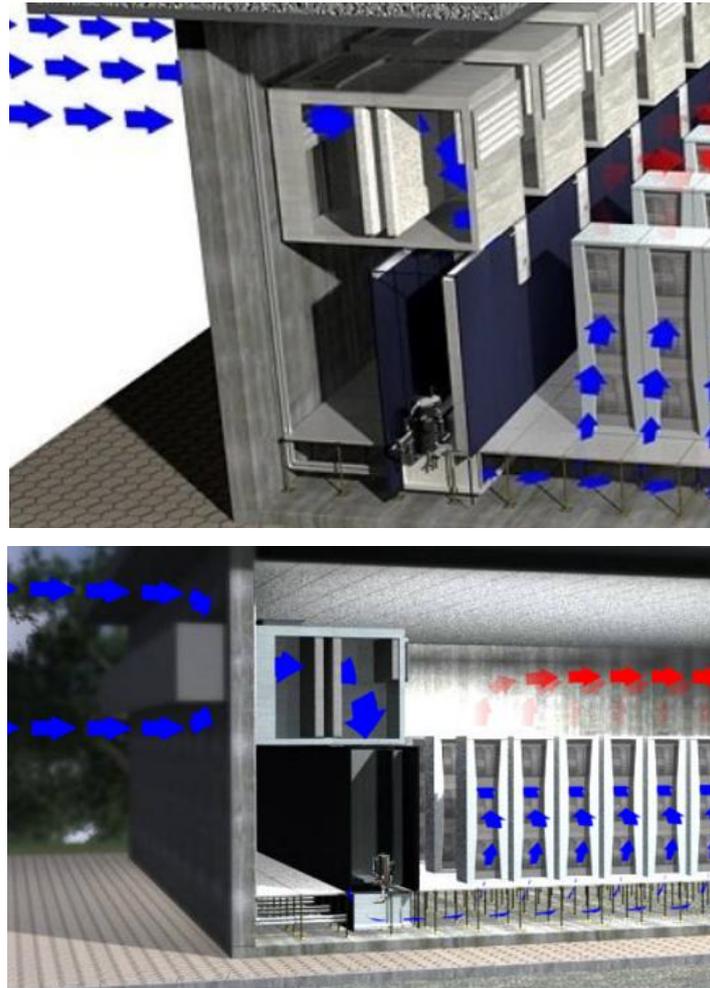


Figura 8. Instalación de plénum a la unidad evaporadora

Estos susodichos plenums irán con una compuerta motorizada para regular el flujo de aire que recibe la unidad evaporadora que irá en función de las condiciones que se den dentro de la sala.

2.4 DISEÑO DE LA RED DE LÍNEAS FRIGORÍFICAS

La instalación del circuito de líneas frigoríficas consistirá en un único circuito que portará gas refrigerante suficiente para abastecer al sistema entero. La instalación tendrá un desnivel en tramos horizontales del 1% en favor de las unidades condensadoras y en los tramos verticales un sifón cada 6 metros al igual que para cada inicio de estos tramos.

El circuito de tuberías tendrá instalado una bomba de control automático que regulará la velocidad del refrigerante según convenga. El tamaño empleado para la red de tuberías es de 3/4" con una cantidad de 215 metros lineales y de 7/8" con una cantidad de 220 metros lineales. La distribución de estas viene detallado en el capítulo de *Anexos*.

2.5 DISEÑO DE RED DE CONDUCTOS

La red de conductos que será diseñada para la sala tendrá un uso único y exclusivo para la extracción de aire caliente de sobrepresión en el interior de la sala. Estará diseñado de manera que extraiga el aire de los pasillos calientes, contará con un conducto principal que se ramifica en otros tres conductos enfocados a las zonas de aire caliente, a su vez, habrá una compuerta motorizada que regule la cantidad de aire extraído para evitar los cambios de presión que afecten a los equipos IT. La cantidad en m² utilizados para dicho fin será de 100 m². Adicionalmente, habrá un conducto que conecte con el plenum instalado sobre las unidades evaporadoras para el mezclado de aire regulado con una compuerta motorizada. El diseño se puede visualizar más claramente con el esquema planteado en la *Figura 6*.

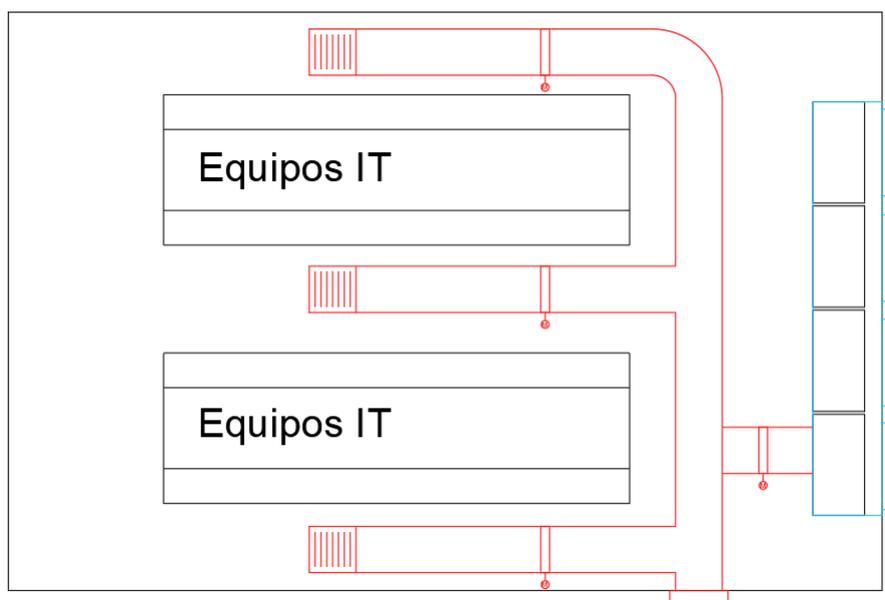


Figura 9. Diseño de conductos de extracción

Capítulo 3. CÁLCULOS

En el presente capítulo se exponen los cálculos realizados, mencionados en el *Capítulo 1 Introducción apartado 1.7 de Cálculo de cargas térmicas*, para la obtención de la carga térmica total de la sala y con ello la potencia total frigorífica necesaria para contrarrestar dicha carga. Además de las cargas térmicas se realizan también los cálculos del caudal de aire de impulsión de las unidades evaporadoras.

3.1 CARGAS TÉRMICAS

Para el cálculo de cargas sensibles, empezando por la carga transmitida a través de muros interiores y exteriores, se toman los valores definidos en la *Tabla 4*.

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

K (W/m ² ·°C)	S (m ²)	T _{ec} (°C)	T _i (°C)
1,2	125	31,95	24

Tabla 4. Datos para la transmisión a través de muros exteriores

Aplicando la fórmula para la transmisión de muros exteriores, la carga total transmitida resulta en 1192,5 W. El valor que toma la transmitancia térmica corresponde a la del hormigón obtenida en el *Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de Edificación*.

Para los muros interiores los valores se recogen en la *Tabla 5*.

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

K (W/m ² ·°C)	S (m ²)	T _{ec} (°C)	T _i (°C)
0,32	125	31,95	24

Tabla 5. Datos para la transmisión a través de muros interiores

El valor de la transmitancia térmica corresponde al ladrillo de huelo doble empleado para la construcción de los dos muros interiores. El valor total de la transmisión a través de estos muros es de 160 W.

A continuación, los datos para el cálculo de la carga por filtraciones de aire exterior definidos en la *Tabla 6*. Para el valor del caudal de aire filtrado, se ha decidido tomar un valor mínimo debido a que el único hueco que existe en la sala es el de la entrada y las rejillas. Estas rejillas serán selladas una vez se complete la instalación de extracción de aire caliente, por tanto, no se han tenido en cuenta.

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e \text{ aire}} \cdot \Delta T$$

V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	C _{e aire} (kJ/kg)	Δw (°C)
0,001	1,18	1012	9

Tabla 6. Datos para la transmisión por filtraciones de aire exterior

Por último, en cuanto a cargas sensibles, tenemos las aportaciones internas compuestas por la iluminación y la potencia total instalada en equipos IT. Para la carga producida por la iluminación de descarga o fluorescente del local se tomaría la potencia por lámpara y el número de ellas siendo 18 W y 6 respectivamente, resultando en 10,75 W totales.

$$Q_{sil} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{lamp}$$

En cuanto a la carga de los equipos IT bastaría con realizar el sumatorio de la potencia de cada servidor instalado. Teniendo en cuenta que no todos los bastidores están llenos de los 48 que hay y que tienen una capacidad de 8 servidores por bastidor con una potencia de 450 W por servidor. El número total de servidores es de 368, resultando en una carga total de 165,6 kW.

La carga sensible total resulta en la suma de todas las cargas sensibles calculadas anteriormente. Por tanto, la carga sensible total es de 166,963 kW.

Finalmente, están las cargas latentes que corresponden a las infiltraciones de aire exterior y la carga latente de los equipos IT. Este tipo de cargas son aquellas que tienden a modificar el contenido en humedad del ambiente. Empezando por las infiltraciones de aire exterior, los datos para su cálculo se recogen en la *Tabla 7*.

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l\text{ agua}} \cdot \Delta w$$

V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	C lat agua (kJ/kg)	Δw (kg agua/kg aire)
0,001	1,18	2264,3	0,0055

Tabla 7. Datos para la transmisión por infiltraciones de aire exterior

Los valores escogidos para la humedad específica, tanto interior como exterior, se extraen del diagrama psicrométrico del aire adjuntado en el capítulo *Anexos*. La humedad específica exterior e interior corresponde a 0,013 y 0,0075 respectivamente. El resultado de dicho cálculo es de 0,05 kW.

Por último, el cálculo total de carga térmica que hay que contrarrestar suma un total de 167 kW.

3.2 CAUDAL DE AIRE IMPULSADO

A la hora del cálculo del caudal del aire se ha de tener en cuenta la potencia frigorífica de la unidad evaporadora y la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior de la sala y viene definida de la siguiente manera:

$$Q = P_f / (1,2 \cdot \Delta T)$$

A lo largo del día existen grandes variaciones de temperatura, por tanto, el caudal se ve afectado por este factor y es necesario realizar el cálculo para cada temperatura posible comenzando por la temperatura media de 35 °C y calculando la variación desde 1 °C hasta los 27°C de temperatura exterior llegando hasta la máxima capacidad de caudal de 20625 m³/h. A partir de 27 °C el caudal permanecerá al máximo con o sin uso de compresor, eso dependerá de la temperatura de consigna de la sala.

Todos los cálculos mencionados referentes al caudal vienen detallados en una tabla en el capítulo de *Anexos*.

Capítulo 4. SELECCIÓN DE EQUIPOS

En presente capítulo se detallan las características técnicas de los equipos seleccionados para las unidades evaporadoras y las unidades condensadoras.

4.1 UNIDAD EVAPORADORA

Este equipo forma parte del núcleo del sistema de refrigeración y para su correcta selección es necesario conocer la carga térmica total que se deba refrigerar. Teniendo en cuenta los cálculos anteriormente calculados siendo la carga total de 167 kW se ha seleccionado un equipo acorde a las condiciones internas. El número de unidades interiores que compondrán el sistema de refrigeración serán cuatro para tener una redundancia de $n + 1$ de potencia.

El componente elegido se trata de un equipo de Emerson Vertiv de la gama PDX, el PX054, es un equipo con una capacidad de refrigeración bruta de 55,1 kW de doble circuito y compresor y un caudal máximo de 20625 m³/h. Sus dimensiones son de 1750 mm de ancho, 890 de profundidad, 1970 de altura con un peso de 642 kg y una impulsión de aire por ventiladores de flujo descendente en suelo elevado apoyado sobre bancada con deflector.

4.2 UNIDAD CONDENSADORA

La condensadora es un equipo que se sitúa en la cubierta para evitar tomar aire caliente a la altura del suelo. Este equipo complementa a la unidad evaporadora, por tanto, el número de equipos será el mismo, es decir, cuatro. Este equipo es el HCR 59 de Emerson Vertiv y cuenta con dos ventiladores axiales con una velocidad y un flujo de aire de 890

rpm y 15600 m³/h respectivamente. Sus dimensiones son de 2340 mm de largo, 1112 mm de ancho y 910 mm de alto y cuenta con un peso de 102 kg. Cabe destacar que en su instalación se ha de mantener 1 metro de distancia entre cada condensadora y de al menos 800 mm entre la pared y el equipo.

El criterio que se ha seguido para la selección de estos equipos ha sido la fiabilidad de una empresa líder en el sector de la climatización que lleva desde 1946 fabricando equipos de climatización de precisión.

Capítulo 5. ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y ROI

En el presente capítulo se resume el consumo del sistema actual frente al consumo con el sistema basado en free cooling y su coste anual y se calcula el Retorno de la Inversión (ROI) con el ahorro que supone el cambio.

Empezando con el análisis de consumo energético de los sistemas de aire acondicionado, gracias a la información proporcionada por la empresa dueña del centro de datos, el consumo que actualmente tienen los equipos que funcionan únicamente con compresor es de 95.166 kWh anuales con un coste, al precio actual de la energía eléctrica de 0,31 €/kWh, que supone un total de 29.154,46 € anuales.

Por otro lado, se tiene el consumo del sistema free cooling con un funcionamiento en modo ventilación 100% free cooling con un consumo de 16.424,55 kWh, contando con la extracción e impulsión de aire. En este modo, el funcionamiento que tiene a lo largo del año es de 7661 h debido a que en la mayoría del año no se supera la temperatura de

la sala. El consumo que lleva a cabo el funcionamiento del compresor debido a los momentos que el sistema funciona con free cooling mixto y únicamente con compresor que correspondería a 1015 h y 84 h respectivamente y se traduce en un total de 25.659,6 kWh anuales. El consumo que supone el uso del compresor y la ventilación asciende a los 42.084,15 kWh anuales traduciéndose en 12.892,64 € anuales.

Finalmente, se conocen los costes de los dos sistemas y la implementación del free cooling supondría un ahorro de 16.261,82 € anuales. Esta cifra se compara con el coste total de la sustitución del sistema obteniéndose un Retorno de la Inversión en 4,3 años.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

Para finalizar, el análisis y diseño que se lleva a cabo en este proyecto demuestra que el free cooling es una tecnología a la que se debe transitar poco a poco ya que se pueden ver positivamente afectados los consumos y costes que tienen los centros de datos.

Independientemente del tipo de sala que se desee climatizar, el free cooling es una gran apuesta hacia una transición ecológica para reducir el consumo innecesario de energía eléctrica, no solo en un centro de datos si no que el free cooling puede ser utilizado en edificios de oficinas, restaurantes y laboratorios entre otras aplicaciones.

Este proyecto me ha enseñado que es muy importante conocer todos los factores que influyen a la hora de realizar un proyecto teórico, a realizar todos los cálculos necesarios para crear un supuesto que se acerque lo máximo a la realidad y a marcar pequeñas metas para llevar a cabo la elaboración del documento.

II. ANEXOS

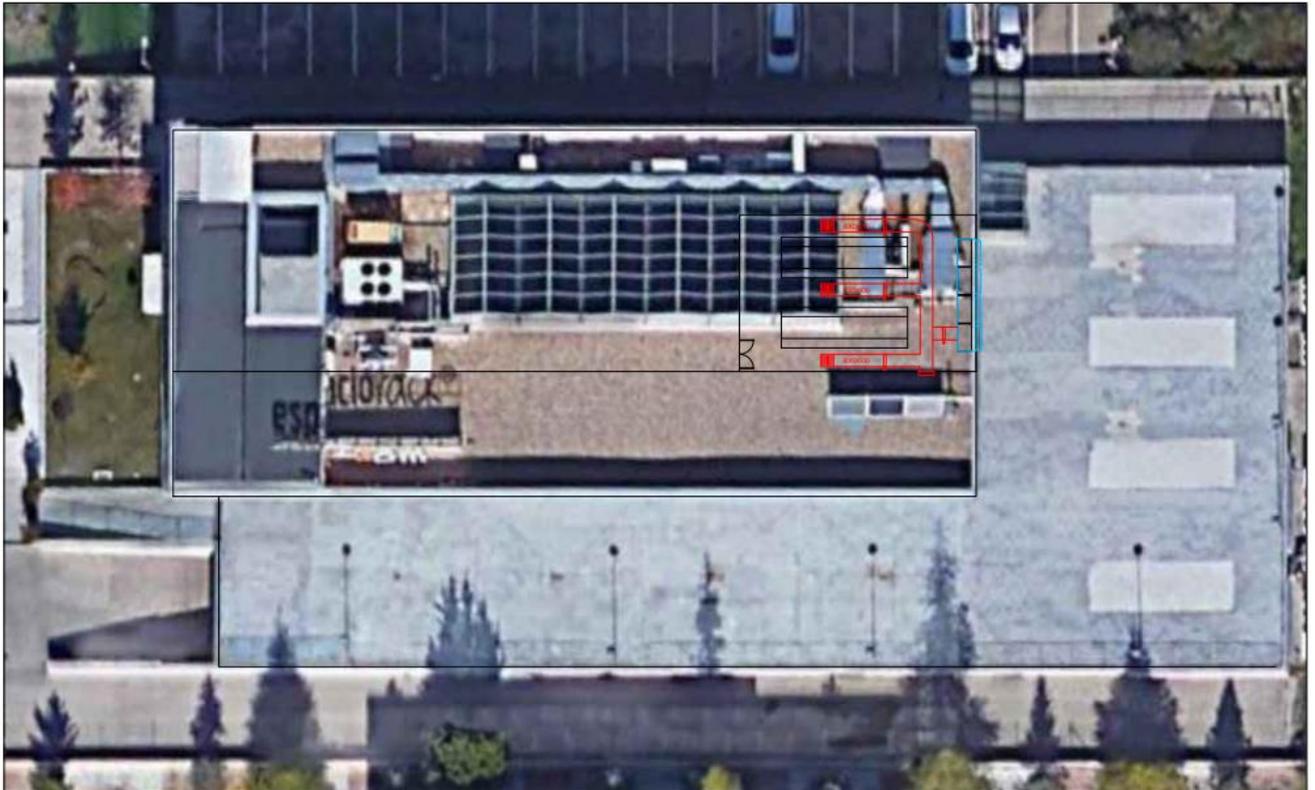
Anexo 2

Tabla de cálculo de caudal para cada muestra de temperatura.

CARGA TÉRMICA				CAUDAL		
kW	ΔT	Tm	Text	m3/s	m3/h	%
55	34	35	1	1,35	4852,94	23,5%
55	33	35	2	1,39	5000	24,2%
55	32	35	3	1,43	5156,25	25%
55	31	35	4	1,48	5322,58	25,8%
55	30	35	5	1,53	5500	26,7%
55	29	35	6	1,58	5689,66	27,6%
55	28	35	7	1,64	5892,86	28,6%
55	27	35	8	1,70	6111,11	29,6%
55	26	35	9	1,76	6346,15	30,8%
55	25	35	10	1,83	6600	32%
55	24	35	11	1,91	6875	33,3%
55	23	35	12	1,99	7173,91	34,8%
55	22	35	13	2,08	7500	36,4%
55	21	35	14	2,18	7857,14	38,1%
55	20	35	15	2,29	8250	40%
55	19	35	16	2,41	8684,21	42,1%
55	18	35	17	2,55	9166,67	44,4%
55	17	35	18	2,70	9705,88	47,1%
55	16	35	19	2,86	10312,50	50%
55	15	35	20	3,06	11000	53,3%
55	14	35	21	3,27	11785,71	57,1%
55	13	35	22	3,53	12692,31	61,5%
55	12	35	23	3,82	13750	66,7%
55	11	35	24	4,17	15000	72,7%
55	10	35	25	4,58	16500	80%
55	9	35	26	5,09	18333,33	88,9%
55	8	35	27	5,73	20625	100%

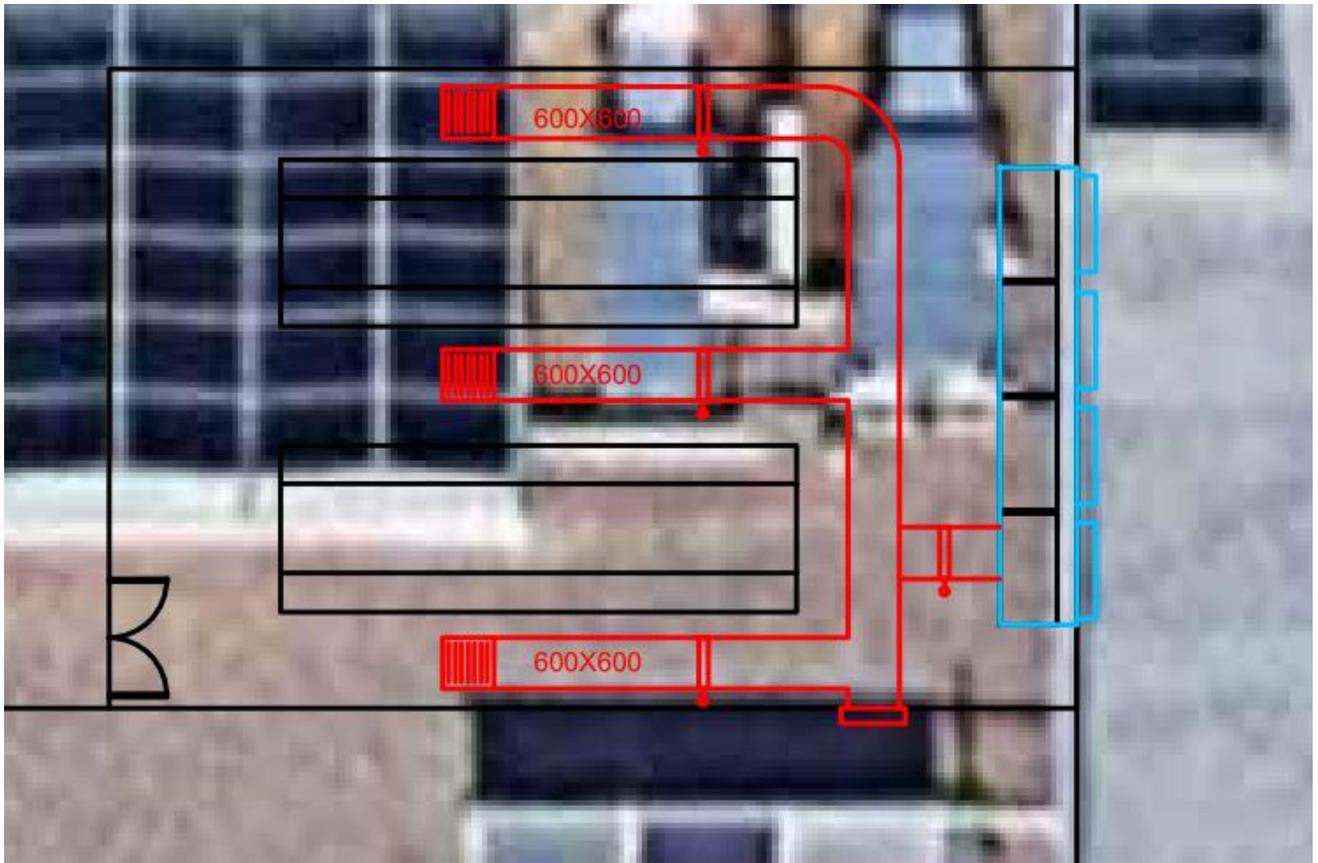
Anexo 3

Plano de la distribución del centro de procesamiento de datos en el edificio.



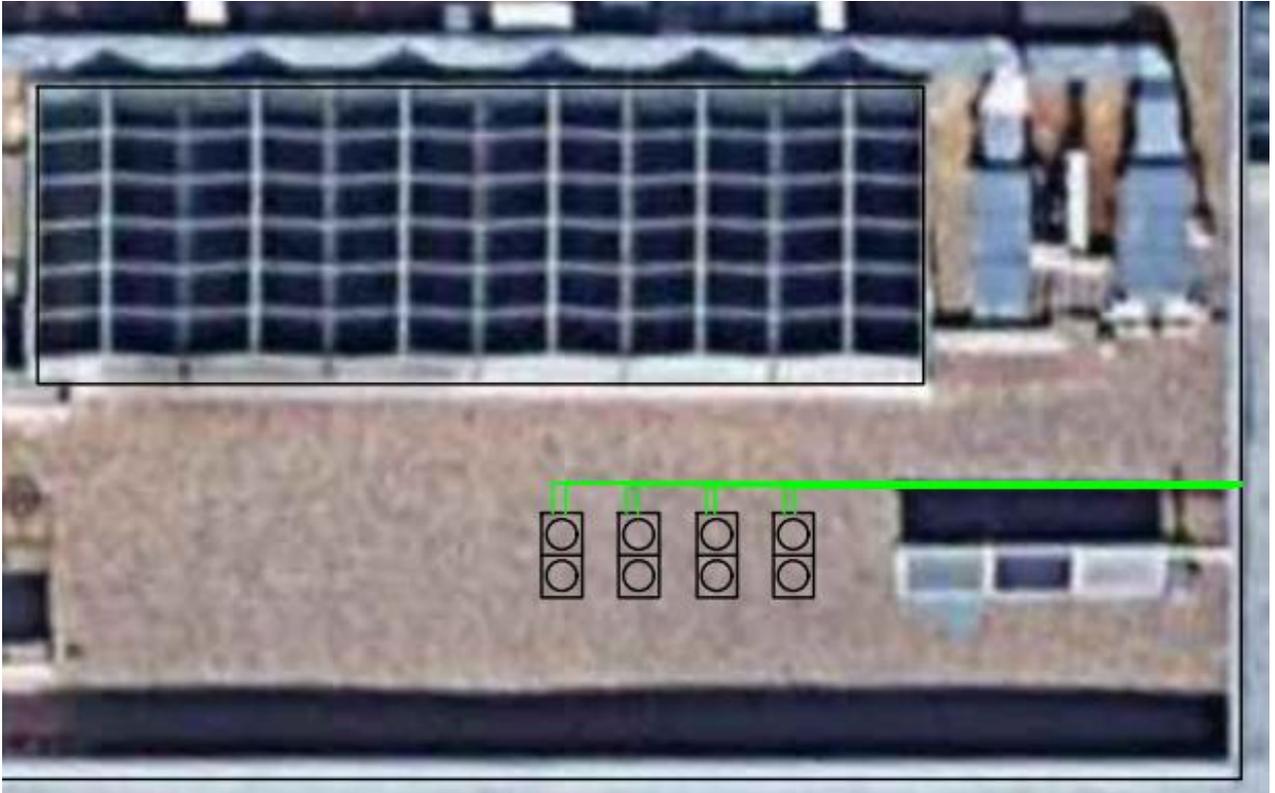
Anexo 4

Plano de la sala y la distribución de conductos en su interior.



Anexo 5

Plano de distribución de líneas frigoríficas en la cubierta hasta las condensadoras.



III. PRESUPUESTO

1. Conducciones sistema free cooling

- Suministro e instalación de conducto rectangular 600x600 de chapa de acero galvanizada
Precio unitario: 45,48 €
Unidades: m²
Cantidad: 100
Total: 454,8 €
- Suministro e instalación de compuerta corta fuegos 600x600 de chapa de acero galvanizada
Precio unitario: 566,48 €
Unidades: Ud
Cantidad: 3
Total: 1699,44 €
- Suministro e instalación de ventilador de extracción
Precio unitario: 303,60 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 303,60 €

- Suministro y montaje de alimentación eléctrica ventilador

Precio unitario: 145,77 €

Unidades: Ud

Cantidad: 1

Total: 145,77 €

2. Trabajos auxiliares de acondicionamiento de instalación

- Trabajos auxiliares de montaje y desmontaje

Precio unitario: 1522,82 €

Unidades: Ud

Cantidad: 1

Total: 1522,82 €

Los trabajos contemplados para la realización de la obra incluyen:

- Preparación zonas de trabajo.
- Apertura de huecos para fijación de compuertas y paso de conductos.
- Modificación de instalaciones existentes, concretamente para la salida del conducto será necesario el desmontaje de bandeja rejiban, posterior montaje de nueva bandeja rejiban por camino alternativo.
- Desmontaje falso techo.
- Montaje falso techo.
- Limpieza.

- Limpieza técnica
Precio unitario: 2771,10 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 2771,10 €

3. Equipos de refrigeración

- Desmontaje de equipos In-row existentes
Precio unitario: 455,40 €
Unidades: Ud
Cantidad: 36
Total: 16394,40 €
- Suministro e instalación de equipos de refrigeración nuevos (unidad interior + condensadora en cubierta)
Precio unitario: 1540,85 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 6163,40 €
- Instalación de bancada con deflector
Precio unitario: 75,90 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 303,60 €

- Suministro e instalación de tubería de cobre 7/8"
Precio unitario: 30,27 €
Unidades: ML
Cantidad: 220
Total: 6659,4 €

- Suministro e instalación de tubería de cobre 3/4"
Precio unitario: 27,82 €
Unidades: ML
Cantidad: 215
Total: 5981,3 €

- Suministro de refrigerante R-410
Precio unitario: 60,24 €
Unidades: kg
Cantidad: 60
Total: 3614,4 €

- Suministro de aceite sintético para refrigerante
Precio unitario: 18 €
Unidades: L
Cantidad: 2
Total: 36 €

- Separador de aceite
Precio unitario: 278,30 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 1113,20 €
- Suministro e instalación de tubería de PVC de 40mm
Precio unitario: 14 €
Unidades: ML
Cantidad: 40
Total: 560 €
- Suministro e instalación de bomba de condensador
Precio unitario: 327,22 €
Unidades: Ud
Cantidad: 2
Total: 654,44 €
- Línea eléctrica de interconexión entre unidad evaporadora y condensadora
Precio unitario: 16,21 €
Unidades: ML
Cantidad: 55
Total: 891,55 €

- Suministro e instalación de automático magnetotérmico
Precio unitario: 246,52 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 986,08 €

4. Sistema de control free cooling

- Suministro e instalación de sistema de control automático
Precio unitario: 10421,52 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 10421,52 €

El sistema de control automático incluye:

- Suministro e instalación de controladores y tarjetas
 - Suministro e instalación de cuadro de control con display de manejo.
 - Suministro e instalación de cableado de control entre sondas y equipos.
 - Ingeniería de programación del sistema
 - Pruebas y puesta en marcha del sistema.
 - Ajuste del funcionamiento de free cooling
-
- Suministro e instalación de sonda exterior
Precio unitario: 111,15 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 111,15 €

- Suministro e instalación de sondas de impulsión
Precio unitario: 80,13 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 320,52 €
- Suministro es instalación de sondas de retorno
Precio unitario: 80,13 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 80,13 €
- Suministro e instalación de sondas ambiente
Precio unitario: 97 €
Unidades: Ud
Cantidad: 4
Total: 388 €
- Suministro e instalación de pulsador de paro temporal
Precio unitario: 222,66 €
Unidades: Ud
Cantidad: 1
Total: 222,66 €
- Suministro e instalación de compuertas motorizadas
Precio unitario: 566,48 €
Unidades: Ud
Cantidad: 5
Total: 2832,40 €

CÁLCULO DE PRESUPUESTO				
Resumen	Ud	Cantidad	Precio	Precio total
Conducto rectangular 600x600 de chapa de acero galvanizada	m2	100	€ 45,48	€ 4.548,00
Compuerta corta fuegos 600x600 de chapa de acero galvanizada	Ud	3	€ 566,48	€ 1.699,44
Ventilador de extracción	Ud	1	€ 303,60	€ 303,60
Alimentación eléctrica ventilador	Ud	1	€ 145,77	€ 145,77
TOTAL CONDUCCIONES SISTEMA FREE COOLING				€ 6.696,81
Trabajos auxiliares de montaje y desmontaje	Ud	1	€ 1.522,82	€ 1.522,82
Limpieza técnica	Ud	1	€ 2.771,10	€ 2.771,10
TOTAL TRABAJOS AUXILIARES DE ACONDICIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN				€ 4.293,92
Desmontaje de equipos In-row existentes	Ud	36	€ 455,40	€ 16.394,40
Equipos de refrigeración nuevos (unidad interior + condensadora en cubierta)	Ud	4	€ 1.740,85	€ 6.963,40
Instalación de bancada con deflector	Ud	4	€ 75,90	€ 303,60
Tubería de cobre 7/8"	ML	220	€ 30,27	€ 6.659,40
Tubería de cobre 3/4"	ML	215	€ 27,82	€ 5.981,30
Refrigerante R-410	KG	60	€ 60,24	€ 3.614,40
Aceite sintético para refrigerante	L	2	€ 18,00	€ 36,00
Separador de aceite	Ud	4	€ 278,30	€ 1.113,20
Tubería de PVC de 40mm	ML	40	€ 14,00	€ 560,00
Bomba de condensador	Ud	2	€ 327,22	€ 654,44
Línea eléctrica de interconexión entre unidad evaporadora y condensadora	ML	55	€ 16,21	€ 891,55
Automático magnetotérmico	Ud	4	€ 246,52	€ 986,08
TOTAL EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN				€ 44.157,77
Sistema de control automático	Ud	1	€ 10.421,52	€ 10.421,52
Sonda exterior	Ud	1	€ 111,15	€ 111,15
Sondas de impulsión	Ud	4	€ 80,13	€ 320,52
Sondas de retorno	Ud	1	€ 80,13	€ 80,13
Sondas ambiente	Ud	4	€ 97,00	€ 388,00
Pulsador de paro temporal	Ud	1	€ 222,66	€ 222,66
Compuertas motorizadas	Ud	5	€ 566,48	€ 2.832,40
TOTAL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO				€ 14.376,38
TOTAL PRESUPUESTADO				€ 69.524,88

Tabla 8 Cálculo de presupuesto

BIBLIOGRAFÍA

Cellnex. (2020). *Informe de Medio Ambiente y Cambio Climático*.

https://www.cellnextelecom.com/content/uploads/2021/07/Cellnex-Telecom_Informe-Medio-Ambiente-y-Cambio-Clim%C3%A1tico_ESdef.pdf

Cellnex. (2016). *Informe Anual Integrado 2016*.

https://www.cellnextelecom.com/content/uploads/2017/06/IAI_CAST_DEF.pdf

Tecnología free cooling para el Banco de la Nación. (2015). *IT/USERS*. Published.

Simulaciones y Proyectos. (2018, 8 noviembre). *Free-Cooling (Ventilación natural mecánica)*. <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/free-cooling-ventilacion-natural-mecanica/>

Ingemecánica. (2021, 17 noviembre). *Guía para el Cálculo de las Cargas Térmicas en los Edificios*. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

Sme, P. (2018, 15 junio). *¿Qué es el sistema free-cooling y por qué elegirlo?* SME Soluciones. <https://www.sme-soluciones.es/sistema-free-cooling-elegirlo/>

Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE). (2010, junio). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*.

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf

Weather Online España. (2021, 3 julio). woespana.es. Recuperado 21 de diciembre de 2021, de <https://www.woespana.es/weather/maps/city>

Caloryfrio, I. A. (2020, 24 agosto). *¿Cuáles son las zonas climáticas de España según*

el CTE? caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/zonas-climaticas-espana-segun-cte.html>

El clima en Madrid, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) - Weather

Spark. (2021). Weather Spark. Recuperado 21 de diciembre de 2021, de <https://es.weatherspark.com/y/36848/Clima-promedio-en-Madrid-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Temperature>

Documento Básico Código Técnico de Edificación de Ahorro de Energía DB H1 de

Condiciones para el control de demanda energética. (2019, diciembre). <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>

Liebert - Emerson Network Power. (2014, junio). *PDX Overview.*

Aire Acondicionado Y Calefacción, C. C. (2018). *Sistemas de Aire Acondicionado:*

Conceptos Básicos de Refrigeración [Diapositivas].

<http://www.asoc.egresados.efn.uncor.edu/>.

http://www.asoc.egresados.efn.uncor.edu/archivos/Sist_AA_1_mod_Conceptos_Basicos_y_Equipos.pdf

STULZ impulsa el Free Cooling en el centro de datos. (2017). *DCD: Data Center*

Dynamics.

cliAtec 360° Data Center. (2019, 21 febrero). *Condiciones ambientales para CPD.*

CliAtec. <https://cliatec.com/condiciones-ambientales-para-cpd/>

Naturgy. (2016, 23 mayo). *¿Sabes lo que es el free cooling?* - Naturgy - Negocios y autónomos. Recuperado 11 de enero de 2022, de https://www.naturgy.es/empresas/blog/sabes_lo_que_es_el_free_cooling