

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENERGÉTICA
SOSTENIBLE

TRABAJO FIN DE MASTER

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN HOTEL MELIÁ CASTILLA POR LA INSTALACIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR DE ALTA TEMPERATURA



Estudiante: Pérez Rodríguez, María

Director/Directora: Blanco Ilzarbe, Jesús María

Agradecer al Meliá Castilla la confianza aportada y las facilidades para trabajar en sus instalaciones y el haberme facilitado la información que requería para la realización del proyecto.

Agradecer a Joaquín Fernández por toda la información facilitada y por su tiempo para resolver todas mis cuestiones.

Agradecer al equipo de Stratenergy por la confianza depositada, en especial a César Rey. Gracias por ser mi mentor y apoyarme siempre.

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMÁGENES	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
GLOSARIO.....	9
ANTECEDENTES.....	11
RESUMEN	11
CAPÍTULO 1: Memoria	12
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. CONTEXTO.....	13
3. OBJETIVO Y ALCANCE.....	19
3.1. Objetivo	19
3.2. Alcance	19
4. BENEFICIOS	20
CAPÍTULO 2: Metodología.....	21
1. BOMBA DE CALOR DE ALTA TEMPERATURA	21
1.1. Sistema de Control Inteligente	25
1.2. Compresor	27
1.3. Refrigerante	28
1.3.1. Trabajo del refrigerante.....	31
2. EL CIRCUITO	34
2.1. Frío.....	35
2.2. Calor	35
3. SISTEMA DE CONTROL POR BMS.....	37
4. DATOS DE FUNCIONAMIENTO.....	41
4.1. Cálculo de la Eficiencia Energética	49
4.2. Inconveniente.....	51
5. REDUCCIÓN EMISIONES DE CO ₂	52
CAPÍTULO 3: Aspectos económicos	54

1. PLAN DE NEGOCIO	54
2. AHORROS GENERADOS EN 2023.....	56
CAPÍTULO 4: Conclusiones	57
1. CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXO I.....	62
FICHA TÉCNICA DE LA BCAT MODELO 61XWH-ZE03	62
ANEXO II	63
PLANOS DE LA BCAT	63
ANEXO III.....	64
Esquema PID de la BCAT	64
ANEXO IV	65
Esquema de principio de la BCAT	65
ANEXO V	66
Modelo de cálculo de rendimiento y reducción emisiones	66
ANEXO VI.....	66
Modelo de cálculo del plan de negocio y ahorros de 2023	66
ANEXO VII	66
Esquema de principio de la situación final	66

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: VISTA DESDE ARRIBA DEL HOTEL MELIÁ CASTILLA	13
IMAGEN 2: FACHADA HOTEL MELIÁ CASTILLA.....	14
IMAGEN 3: CALDERA DE COMBUSTIÓN BUDERUS	15
IMAGEN 4: FICHA TÉCNICA DE LAS CALDERAS LOGANO PLUS GB402-620	16
IMAGEN 5: DEPÓSITOS DE CONSUMO DE ACS DEL HOTEL MELIÁ CASTILLA	16
IMAGEN 6: PLACA DE LOS DEPÓSITOS DE ACUMULACIÓN DE ACS.....	17
IMAGEN 7: BOMBA DE CALOR DE ALTA TEMPERATURA MODELO 61XWH (FUENTE: PRESENTACIÓN CARRIER POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ).....	21
IMAGEN 8: CICLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BCAT (FUENTE: PRESENTACIÓN CARRIER POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ)	22
IMAGEN 9: CONEXIÓN VICTAULIC	23
IMAGEN 10: PANTALLA TOUCHPILOT INTEGRADA.....	25
IMAGEN 11: COMPRESOR DE TORNILLO 06T.....	27
IMAGEN 12: FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR. (FUENTE: PRESENTACIÓN FORMACIÓN CARRIER)	28
IMAGEN 13: CONSUMO DE HFC RELACIONADO CON EMISIONES EQUIVALENTES DE CO ₂ (FUENTE: PRESENTACIÓN DE CARRIER POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ).....	28
IMAGEN 14: IMPACTO DIRECTO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (FUENTE: QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC)	29
IMAGEN 15: CARACTERÍSTICAS REFRIGERANTE R-1234ZE (FUENTE: PRESENTACIÓN DE CARRIER POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ).....	30
IMAGEN 16: DIAGRAMA DE MOLLIER: COMPARATIVA ENTRE EL R-123A Y R-1234ZE.....	31
IMAGEN 17: VÁLVULAS DE EXPANSIÓN (FUENTE: DIAPOSITIVAS CARRIER, POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ).....	32
IMAGEN 18: DIAGRAMA P-H DEL REFRIGERANTE (FUENTE: PRESENTACIÓN DE CARRIER, POR JOAQUÍN FERNÁNDEZ)	33
IMAGEN 19: INSTALACIÓN BCAT.....	34
IMAGEN 20: PANTALLA INICIO BMS	38
IMAGEN 21: PANTALLA EVAPORADOR BMS.....	38
IMAGEN 22: PANTALLA CONDENSADOR BMS.....	39
IMAGEN 23: PANTALLA CONSUMO ACS BMS.....	40
IMAGEN 24: EJEMPLO PANTALLA PLATAFORMA MIDE	41

IMAGEN 25: GUÍA DE COLORES PARA LAS GRÁFICAS DEL RENDIMIENTO	42
IMAGEN 26: GRÁFICA RENDIMIENTO ENERO	42
IMAGEN 27: GRÁFICA RENDIMIENTO FEBRERO.....	43
IMAGEN 28: GRÁFICA RENDIMIENTO MARZO	43
IMAGEN 29: GRÁFICA RENDIMIENTO ABRIL.....	44
IMAGEN 30: GRÁFICA RENDIMIENTO MAYO.....	44
IMAGEN 31: GRÁFICA RENDIMIENTO JUNIO.....	45
IMAGEN 32: GRÁFICA RENDIMIENTO JULIO	45
IMAGEN 33: GRÁFICA RENDIMIENTO AGOSTO	46
IMAGEN 34: GRÁFICA RENDIMIENTO SEPTIEMBRE	46
IMAGEN 35: GRÁFICA RENDIMIENTO OCTUBRE	47
IMAGEN 36: GRÁFICA RENDIMIENTO NOVIEMBRE	47
IMAGEN 37: GRÁFICA RENDIMIENTO DICIEMBRE	48
IMAGEN 38: BCAT N° 8 Y 9 INSTALADAS.....	57
IMAGEN 39: BCAT N°2 INSTALADA	58
IMAGEN 40: BCAT N° 3 INSTALADA	58
IMAGEN 41: BOMBAS DE CALOR 30RQP520 INSTALADAS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CONSUMOS TOTALES 2019 (FUENTE: FACTURAS DE LUZ Y GAS 2019).....	14
TABLA 2: CONSUMO GAS 2019 (FUENTES: FACTURAS GAS 2019)	15
TABLA 3: GENERACIÓN DE CALOR PARA CALEFACCIÓN Y ACS EN 2019.....	18
TABLA 4: INFORMACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA BCAT	24
TABLA 5: DATOS DEL EVAPORADOR	24
TABLA 6: DATOS DEL CONDENSADOR.....	25
TABLA 7: RESUMEN DEMANDA/GENERACIÓN 2023	50
TABLA 8: RENDIMIENTO BCAT 2023	51
TABLA 9: FACTORES DE EMISIÓN DE GASES. (FUENTE: (OECC, 2023)).....	53
TABLA 10: TCO ₂ REDUCIDAS MENSUALMENTE EN 2023	53
TABLA 11: AHORROS 2023	56

GLOSARIO

BCAT: Bomba de Calor de Alta Temperatura

ACS: Agua Caliente Sanitaria

GEI: Gases de Efecto Invernadero

UE: Unión Europea

GN: Gas Natural

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

BCBT: Bomba de Calor de Baja Temperatura

HFO: Hidro-Fluoro-Olefinas

HFC: Hidro-Fluoro-Carbuos

PCA: Potencial de Calentamiento Atmosférico

EER: Energy Efficiency Ratio

V2V: Válvula de 2 Vías

V3V: Válvula de 3 Vías

BMS: Building Management Systems

GF: Grupo Frigorífico

BE: Bomba del Evaporador

BC: Bomba del Condensador

SP: Set Point

EER: Energy Efficiency Ratio

SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio

COP: Coefficient Of Performance

SCOP: Seasonal Coefficient Of Performance

GdO: Garantía de Origen renovable

PCS: Poder Calorífico Superior

PCI: Poder Calorífico Inferior

CAPEX: Capital expenditures

OPEX: Operational expenditures

PRL: Prevención de Riesgos Laborales

ANTECEDENTES

Stratenergy S.L.U. es una empresa de servicios energéticos donde fui contratada en enero de 2022. Uno de los proyectos que me asignaron fue la Sustitución de Calderas de Gas Natural para la producción de calefacción y ACS en el Hotel Meliá Castilla. El proyecto tiene cuatro fases diferentes. Actualmente, se está finalizando la cuarta fase. En este documento se va a presentar la primera fase.

RESUMEN

El presente proyecto está orientado a investigación y muestra del beneficio de la electrificación de procesos térmicos. En concreto, de la sustitución de calderas de gas natural por bombas de calor de alta temperatura.

En primer lugar, se presenta la memoria del proyecto, donde se recoge la introducción, contexto, objetivos y beneficios. Donde se explica cuáles han sido los motivos para llevar a cabo este proyecto.

Seguidamente, se presenta la metodología, donde se aprecia la información técnica de la instalación y de la máquina, datos de funcionamiento, rendimientos conseguidos y la reducción de emisiones, en 2023.

Finaliza con los capítulos 4 y 3. Muestran los aspectos económicos del proyecto y las conclusiones, donde se le da sentido al alcance y beneficios expuestos en el capítulo 1.

CAPÍTULO 1: Memoria

1. INTRODUCCIÓN

Hace años que comenzó a notarse el declive ambiental en el mundo. Creando así la necesidad de tomar medidas entre países. Con los años se han ido creando convenios, tratados y protocolos donde se han presentado los objetivos a cortos y largos plazos que debe cumplir cada país implicado, para conseguir disminuir el impacto ambiental en la Tierra.

El protocolo más importante hasta la fecha es el Protocolo de Kioto, en el cual se pone en compromiso a los países industrializados de las Naciones Unidas a limitar y reducir las emisiones de GEI. Donde cada país tiene el objetivo de conseguir dicha reducción de GEI adoptando sus propias medidas y políticas de mitigación. Para la Unión Europea los objetivos que se recogen son:

- Mejorar la Eficiencia energética en un 32,5%
- Reducir las emisiones de GEI un 40%
- Conseguir que al menos el 32% de la energía que se genere y consuma sea renovable

Así, comienzan a nacer leyes y reglamentos, entre ellas las referentes al EcoDiseño en energía (Directiva 125/2009). Tanto en Industria, Transporte y Edificios, siendo los edificios los mayores consumidores de energía. Lo que proporciona una oportunidad de desarrollo sostenible en diversas industrias, entre ellas la de la climatización o HVAC, enfocadas en la refrigeración y en la generación de calor, para aire acondicionado, producción de ACS y calefacción, entre otros.

Los reglamentos referentes al EcoDiseño en la UE son aplicables en las enfriadoras en climatización, en las enfriadoras de refrigeración de procesos industriales y en las bombas de calor (Reglamento 2016/2281; Reglamento 2015/1095; Reglamento 813/2013) (Carrier, Reglamento sobre diseño ecológico para bombas de calor y enfriadoras, 2020).

Dentro de la clasificación de las bombas de calor existe una amplia gama de productos, desde bombas de calor convencionales, a las Bombas de Calor de Alta Temperatura, uno de los últimos diseños en bombas de calor que garantizan mayor eficiencia energética. Este proyecto se va a centrar en la mejora energética que supone la instalación de estas últimas.

2. CONTEXTO

Como se ha comentado en el apartado anterior, los edificios suponen ser los mayores consumidores de energía y se encuentran entre los principales emisores de dióxido de carbono (CO₂). Siendo los responsables del 40% del consumo energético en la UE y del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generadas durante la construcción, utilización, renovación y demolición. Por lo que, la mejora de la eficiencia energética en edificios es crucial para poder conseguir los objetivos de la *Agenda de 2030* y la neutralidad de las emisiones de carbono para 2050 en el *Pacto Verde Europeo* (La eficiencia energética de los edificios, 2020). El cual tiene como objetivo situar a la UE en una transición ecológica, para conseguir la neutralidad climática desde ya hasta 2050 (Europeo, 2023).

Estos edificios pueden ser tanto domésticos, como oficinas o locales de ocio, ya sean centros comerciales, hoteles o apartamentos. Este proyecto está centrado en el sector hotelero, en concreto en el Hotel Meliá Castilla, situado en Madrid. Más concretamente en la calle Poeta Joan Maragall, 43 (imágenes 1 y 2).

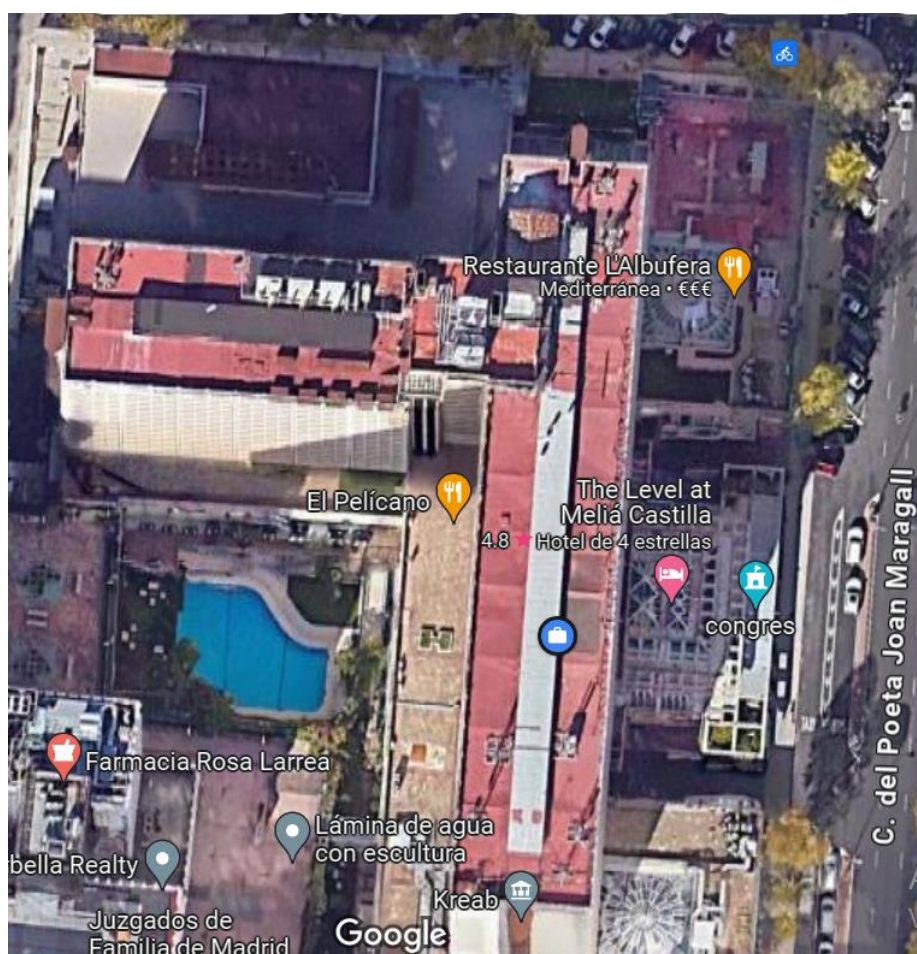


Imagen 1: Vista desde arriba del Hotel Meliá Castilla



Imagen 2: Fachada Hotel Meliá Castilla

El Hotel Meliá Castilla es uno de los hoteles más importantes y antiguos de Madrid. Se considera el segundo mejor hotel MICE (Meetings, Incentives, Conferences and Expositions) de Europa (Cvent, 2019). Cuenta con 909 habitaciones de diferentes tamaños, distribuidas en 15 plantas y con 40 salones, destinados a conferencias, reuniones y exposiciones, más todos los despachos y oficinas, cocinas y espacios comunes del personal.

Debido a su gran tamaño y capacidad de ocupación, tiene un gran consumo energético tanto eléctrico como de gas natural. A continuación, se muestra una tabla con los valores energéticos consumidos y las toneladas de CO₂ emitidas en 2019 (año que se ha elegido como referencia por ser el año previo a la pandemia) (tabla 1). En 2019, el hotel tuvo cerca de 460 mil clientes solo en ocupación de habitaciones.

Tabla 1: Consumos totales 2019 (Fuente: facturas de luz y gas 2019)

2019	Consumo energía	tCO ₂
Electricidad	7.292.374 kWh	1.881
Gas	5.585.202 kWh	1.017

Otro de los motivos a los que se debe su gran consumo energético es que tiene más de 50 años y las instalaciones no estaban adaptadas a la nueva era de las energías. Dentro del consumo de gas que aparece en la tabla, se conocen también, qué cantidad de ese gas consumido pertenece a gas utilizado en cocinas y cuánto pertenece al ACS y a calefacción (tabla 2):

Tabla 2: Consumo gas 2019 (Fuentes: facturas gas 2019)

2019	Consumo	tCO ₂
Gas cocina	644.649 kWh	117
Gas calefacción y ACS	4.940.553 kWh	899

Como se puede apreciar en la (tabla 2), aproximadamente el 88% del gas consumido anualmente va destinado la calefacción y al calentamiento del agua caliente sanitaria. Para generar este gas, cuenta con 6 calderas de gas con quemador modulante de premezcla, repartidas entre 3 rooftops, las cuales presentan las siguientes características:

- Temperatura de trabajo: 60-80°C
- Potencia útil a plena carga (60-80°C): 577,1 kW
- Potencia nominal a plena carga (60-80°C): 590 kW
- Potencia de gas natural demandada a plena carga (60-80°C): 656 kW
- Rendimiento (PCS): 88%
- Potencia total disponible: 3.462,6 kW

Las calderas son de la marca Buderus, modelo Logano Plus GB402-620. A continuación, se muestra una foto de una de las calderas y la ficha técnica de las mismas (imágenes 3 y 4):



Imagen 3: Caldera de combustión Buderus

Datos técnicos de la caldera

		Tamaño de la caldera				
	Unidad	GB402-320-5	GB402-395-6	GB402-470-7	GB402-545-8	GB402-620-9
Potencia calorífica nominal	kW	61,0 - 304,8	75,2 - 376,2	89,5 - 447,6	103,8 - 519,0	118,0 - 590
Potencia calorífica útil en sistema 80 / 60 °C	kW	58,9 - 297,2	72,6 - 367,4	85,2 - 435,8	100,7 - 507,0	114,9 - 577,1
Potencia calorífica útil en sistema 50 / 30 °C	kW	66,7 - 320,0	80,5 - 395,0	95,6 - 468,2	113,0 - 545,0	127,6 - 621,4
Rendimiento de caldera a plena carga en sistema de temperatura 80/60°C	%	97,5	97,6	97,6	97,7	98
Rendimiento de caldera a plena carga en sistema de temperatura 50/30°C	%	105,1	105	104,6	105	105,3
Rendimiento estacional normalizado en sistema 75/60°C	%	106,0	106,3	106,6	106,3	106,4
Rendimiento estacional normalizado en sistema 40/30°C	%	109,6	109,4	109,7	109,3	110,4
Pérdidas térmicas por disposición de servicio en caso de temperaturas 30/50K	%	0,33 / 0,20	0,27 / 0,16	0,14 / 0,23	0,20 / 0,12	0,11 / 0,17
Circuito de agua						
Contenido de agua en caldera	l	47,3	53,3	59,3	65,3	75,3
Pérdida de presión en el lado del agua con ΔT 20K	mbar	99	105	95	108	113
Temperatura máxima de impulsión	°C	85				
Temperatura máxima de seguridad STB	°C	100				
Presión máxima de servicio	bar	6				

*Modelo incluido en el Roof-Top GB402-620

***Modelo incluido en el Roof-Top GB402-620**

Imagen 4: Ficha técnica de las calderas Logano Plus GB402-620

Estas calderas están colocadas en serie. Calientan el agua con gas natural. El agua se envía a un colector y posteriormente pasa por 3 intercambiadores colocados en paralelo y de ahí se distribuye a los diferentes circuitos. Por un lado, el circuito de calefacción: salones y habitaciones; y por otro, el circuito de ACS. En concreto a 4 depósitos de 3.000 litros cada uno, como muestra una de las placas en la imagen 6. Es decir, el hotel dispone de 12.000 litros de acumulación de ACS. Dos de ellos distribuyen el agua a las llamadas “Zonas bajas” que son entre las plantas 1 y 8; y los otros dos, a las llamadas “Zonas altas”, plantas entre la 9 y la 15, ambas incluidas. Debido a que las zonas altas necesitan bombas hidráulicas con más para poder llevar presión suficiente a las mismas. En la siguiente imagen se muestran los 4 depósitos (imagen 5):



Imagen 5: Depósitos de consumo de ACS del Hotel Meliá Castilla

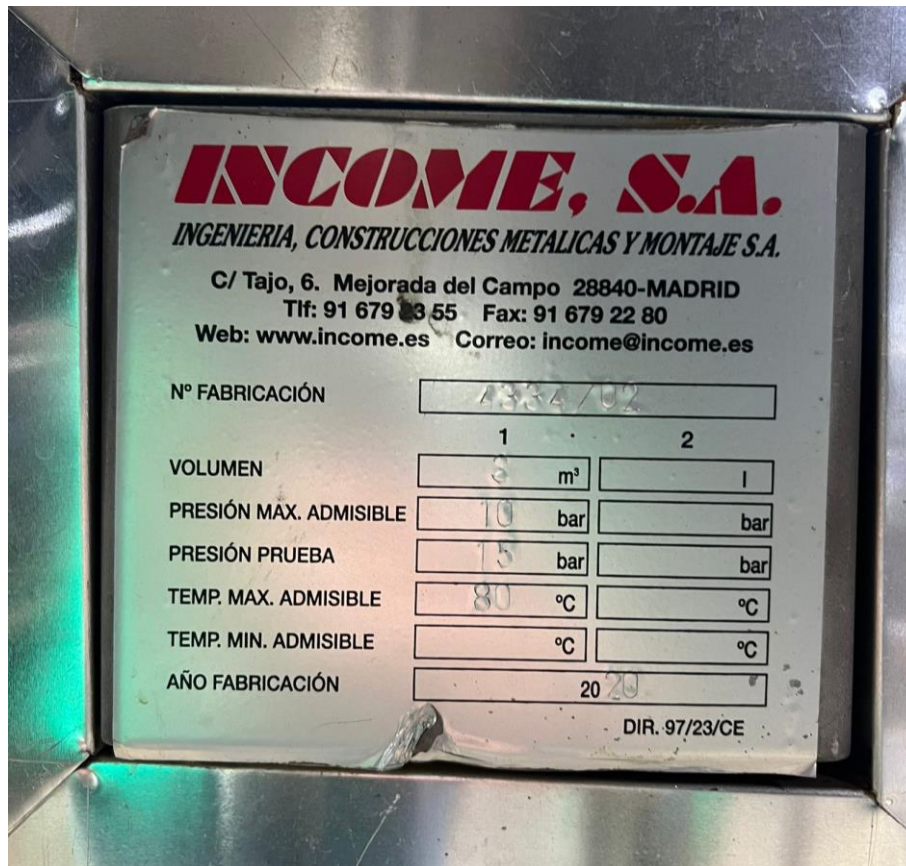


Imagen 6: Placa de los depósitos de acumulación de ACS

Siendo uno de los hoteles más importantes de España y por consiguiente, teniendo que cumplir con los compromisos de la *Agenda 2030*, se quiere reducir el impacto ambiental y se decide realizar un estudio de la instalación referente a las calderas y del consumo generado por las mismas en el año 2019. Como los circuitos donde existe mayor demanda de calor en el hotel son en el ACS y la calefacción, se toman datos de caudal y temperaturas a tiempo real durante 2019 en ambos circuitos, mediante monitorización de contadores térmicos. Gracias a estos datos, se conoce que el pico de demanda de ACS está entre 500 y 1.000 kW y se da a primera hora de la mañana, mientras que en calefacción, la demanda base se encuentra entre 500 y 900 kW en los meses de invierno. El pico máximo de potencia térmica generada en el período de medición fue 1.510 kW (tabla 3):

Tabla 3: Generación de calor para calefacción y ACS en 2019

Mes	Potencia Máx (kW PCS)	Hora	Potencia Media (kW PCS)	Potencia Mínima (kW PCS)
Enero	1.510	8:00	927	292
Febrero	1.462	8:00	837	480
Marzo	1.315	11:00	648	468
Abril	1.155	22:00	626	97
Mayo	1.212	11:00	427	117
Junio	1.359	7:00	423	0
Julio	1.019	8:00	459	0
Agosto	1.039	10:00	415	0
Septiembre	1.046	5:00	497	0
Octubre	1.436	20:00	595	0
Noviembre	1.367	7:00	844	0
Diciembre	1.387	20:00	864	688

Actualmente, existen diversas fuentes para generar calor de manera eficiente, pueden ser de origen renovable (Aeroterminia y Geoterminia) o por actividad humana (calor residual de edificios, procesos de fabricación, tratamiento de residuos, etc.). Dentro de este último grupo se encuentran las BCAT. Así, conociendo los datos comentados anteriormente y posterior al estudio realizado, se decide instalar una de estas máquinas, con todos los elementos hidráulicos que la acompañan, para poder generar el calor demandado por el hotel para el ACS.

3. OBJETIVO Y ALCANCE

3.1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es reducir parcialmente las emisiones de CO₂ del Hotel Meliá Castilla y por consiguiente, su impacto ambiental, mostrar en este documento cuáles han sido los procedimientos para conseguirlo y mejorar la Eficiencia Energética gracias a la instalación de una Bomba de Calor de Alta Temperatura, acompañada de un Sistema de Control, para eliminar el consumo de GN en calderas para calentar el Agua Caliente Sanitaria (ACS).

3.2. Alcance

Este documento pretende proyectar todos los pasos que se han llevado a cabo para conseguir la reducción de las toneladas de CO₂ emitidas por uno de los hoteles más grandes de España. Se trata de mostrar la viabilidad de sustituir calderas convencionales por máquinas eléctricas con producción térmica.

El alcance de este proyecto es mostrar la primera fase de un proyecto mayor de cuatro fases.

- ✓ FASE I: Instalación de una BCAT (modelo 61XWH-Z03) para ACS.
- ✓ FASE II: Sustitución de fancoils de las habitaciones (927 en total) e instalación a 4 tubos.
- ✓ FASE III: Instalación de cuatro BCBT (modelos 30RQ520) para calefacción de habitaciones.
- ✓ FASE IV: Instalación de dos BCAT (modelos 61XWH-Z03) para calefacción de salones.

4. BENEFICIOS

El mayor beneficio de este proyecto es la reducción de la huella de carbono del hotel y por consiguiente, conseguir la descarbonización del mismo para cumplir con los objetivos del *Pacto Verde Europeo* y los objetivos 7 y 13 de la *Agenda 2030* en España.

El *Pacto Verde Europeo*, como se ha comentado en el apartado 2, pretende conseguir que Europa sea el primer continente climáticamente neutro en 2050. Para conseguirlo, establece un primer objetivo para 2030: “reducir las emisiones en al menos un 55%, respecto a los niveles de 1990.” (BBVA, 2024).

La *Agenda 2030* para el Desarrollo Sostenible es un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad. En ella, se plantean 17 objetivos u ODS con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económicas, sociales y ambientales. Entre estas metas se encuentra la descarbonización, dentro del objetivo 7 y la lucha contra el cambio climático en el ODS 13, generadas por la necesidad de crear una estrategia que permita alcanzar el objetivo climático y sus implicaciones (Gobierno de España, 2015).

Otro importante beneficio es el económico. El hotel ha llegado a ahorrar más de 40.000 € gracias a la eliminación del gas para el calentamiento de ACS.

Gracias al ahorro generado se ha conseguido ganar de confianza del cliente y por consiguiente la ampliación y contratación de las cuatro fases del proyecto. Lo que implicará que desde febrero de 2024 se elimine el uso de gas natural para calefacción y ACS en el hotel.

Los datos económicos se muestran más adelante, en el Capítulo 3.

CAPÍTULO 2: Metodología

1. BOMBA DE CALOR DE ALTA TEMPERATURA

El sistema diseñado consta del equipo principal, la BCAT, acompañada de dos depósitos de agua para acumulación (frío y calor); dos bombas hidráulicas, una para el circuito de condensación y otra para el circuito de evaporación; 4 intercambiadores de placas, dos para el circuito de calor y otro para el de frío; dos colectores (frío y calor) con sus respectivas bombas hidráulicas; contadores de caudal y temperatura; manómetros y válvulas, de 2 y 3 vías.

Más adelante se explicará el funcionamiento de todo el circuito. Para poder entenderlo es importante conocer qué es y cómo funciona el equipo principal.

Es una bomba de calor del modelo 61XWH-ZE03, diseñada por Carrier para calentar y enfriar agua simultáneamente, destinada a edificios o procesos industriales, pudiéndose utilizar como alternativa o complemento de las calderas de gas. Mientras las calderas solo calientan, las bombas de calor pueden proporcionar calefacción, refrigeración y transferir energía a partir de energía residual con rendimientos de eficiencia más altos que las calderas. Están diseñadas para satisfacer las necesidades actuales y futuras en términos de eficiencia energética, flexibilidad de uso y compacidad.

Su sistema es agua-agua, es decir, el intercambio y la condensación se genera mediante agua y no aire.

Su diseño es compacto. Se compone de dos cilindros, posicionados en horizontal, uno encima de otro, siendo el evaporador el de arriba y el condensador el de abajo, como muestra la imagen 7:



Imagen 7: Bomba de Calor de Alta Temperatura modelo 61XWH (Fuente: Presentación Carrier por Joaquín Fernández)

El evaporador es la fuente de calor, puede trabajar entre -10°C y 55°C , mientras que el condensador se encarga del suministro y es capaz de trabajar entre 50°C y 85°C . A continuación, se muestra el ciclo de funcionamiento de la máquina (imagen 8).

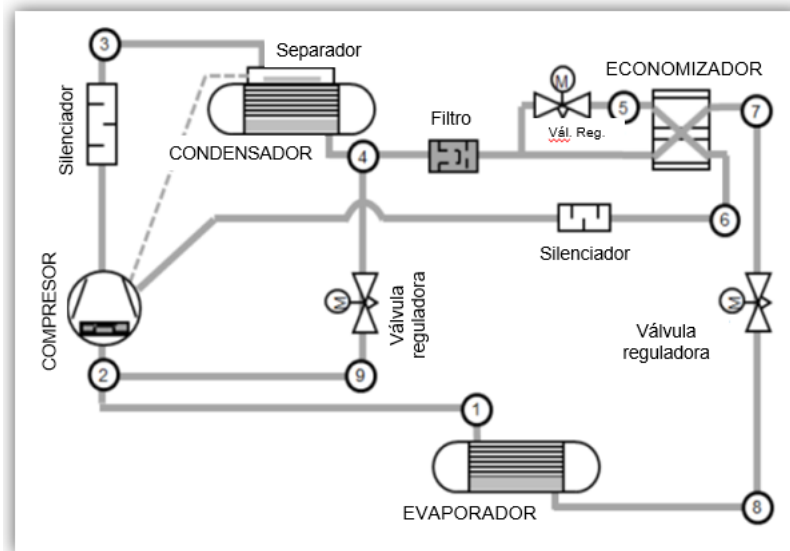


Imagen 8: Ciclo de funcionamiento de la BCAT (Fuente: Presentación Carrier por Joaquín Fernández)

El modelo 61XWH-ZE03 es capaz de calentar el agua hasta 85°C en la parte del condensador y enfriarla hasta 7°C en el evaporador, consumiendo poca energía. En el caso de este proyecto, la temperatura más alta de salida se ha capado para que no llegue a 85°C , ya que para la acumulación de ACS es válido con estar a más de 60°C (España, Real Decreto 865/2003. Capítulo 3: Sistema de Agua Caliente Sanitaria, 2003) y no es necesario que trabaje a más de 70°C . Así, se asegura que la máquina no trabaje más de lo necesario y conseguir un mayor ahorro energético y económico. En el Anexo I, se adjunta la ficha técnica de la máquina.

Las temperaturas se consiguen mediante un compresor de tornillo de doble rotor, equipado con un motor de alta eficiencia y una válvula de capacidad variable que permite adaptar la capacidad de calefacción de carga; dos intercambiadores de calor multitubos inundados para una mayor eficiencia en el intercambio de calor; un dispositivo de expansión electrónico, que permite un mejor aprovechamiento de la superficie de intercambio térmico del evaporador; y un sistema economizador con dispositivo de expansión electrónico para aumentar la capacidad de calefacción y refrigeración (Carrier, Datos de selección de productos).

Sus características principales son:

- **Bajo nivel sonoro:** dispone silenciadores en las líneas de descarga de compresores y retorno del economizador, y aislamiento acústico en los componentes más expuesto a irradiar ruido.
- **Unidad compacta y accesible:** sus dimensiones son 2,72 x 0,98 x 1,59 metros y su peso en funcionamiento es 2.251 kg. En el Anexo II se adjuntan los planos de la máquina.
- **Conexiones eléctricas simplificadas:** consta de un interruptor de desconexión principal con alta capacidad de disparo y de un transformador para alimentación del circuito integrado de control (400/24V).
- **Conexiones hidráulicas simplificadas:** conexiones Victaulic (imagen 9) en el evaporador y condensador, marcas de referencia de entrada y salida de conexiones de agua, posibilidad de invertir la entrada y salida del intercambiador de calor en fábrica y posibilidad de modificar el número de pasos del intercambiador de calor.

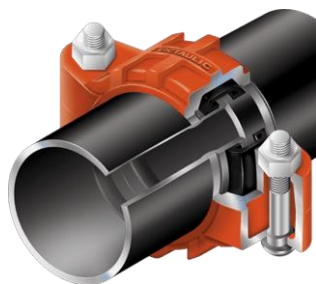


Imagen 9: Conexión Victaulic

- **Rápida puesta en servicio.**
- **Circuito frigorífico estanco:** reducción de fugas al no existir tubos capilares, verificación de traductores de presión y sensores de temperatura sin transferir carga de refrigerante, válvula de cierre de la línea de líquido para simplificar el mantenimiento.
- **Mayor rendimiento global.**
- **Compresores de tornillo:** tienen rodamientos sobredimensionados y un motor que se refrigera por el gas de aspiración gracias a un émbolo que regula en función de la temperatura del compresor.
- **Circuito frigorífico:** dos circuitos frigoríficos independientes, el segundo sustituye al primero en caso de avería del primero, manteniendo así una refrigeración parcial.
- **Evaporador:** dispone de un interruptor electrónico de flujo (libre de paletas).
- **Control autoadaptativo:** evita ciclos excesivos del compresor y lo descarga automáticamente en caso de que la presión de condensación se eleve demasiado.
- **Refrigerante:** el refrigerante con el que se ha diseñado es el R-1234ze.

La máquina trabaja con agua dulce y tiene un factor de suciedad de 0,000 (sqm-K)/kW. El factor de suciedad o factor de ensuciamiento en intercambiadores de calor se define como la deposición o acumulación de material no deseado, como materiales en suspensión, incrustaciones o sales insolubles, en las superficies internas del intercambiador. Es importante que sea 0,000 (sqm-K)/kW porque en caso de fuese un valor positivo, tendría un impacto significativo en la transferencia térmica de los intercambiadores y por lo tanto, en el rendimiento operativo general de la máquina (Hale, 2020).

Se considera que tiene Mayor Rendimiento Global porque con poca potencia térmica es capaz de conseguir altas temperatura. A continuación, se muestran tres tablas con los valores para conocer el rendimiento si trabajase a carga total (tablas 4, 5 y 6). También se pueden ver en la ficha técnica, adjuntada en el Anexo I.

Tabla 4: Información sobre el rendimiento de la BCAT

Potencia calorífica	252 kW
Eficacia de calefacción (COP)	2,82 kW/kW
Capacidad frigorífica	168 kW
Potencia absorbida	89 kW

Tabla 5: Datos del evaporador

Número de pasos	2
Temperatura de salida	7°C
Temperatura de entrada	12°C
Caudal	8 l/s
Pérdida total de carga	15 kPa

Tabla 6: Datos del condensador

Número de pasos	2
Temperatura de salida	70°C
Temperatura de entrada	60°C
Caudal	6,1 l/s
Pérdida total de carga	15kPa

1.1. Sistema de Control Inteligente

La BCAT consta de un Sistema de Control Inteligente. Se trata de una pantalla táctil TOUCHPILOT, incorporada en el exterior del cuadro eléctrico de la máquina. En ella, se parametriza la máquina según las características requeridas por la instalación del edificio, se registran todos los datos de funcionamiento de la misma y se le da orden de arranque o parada. Además, nos muestra in situ a qué temperaturas está trabajando, pudiendo hacer un contraste del salto térmico en evaporador y en condensador y así comprobar si está funcionando correctamente según la parametrización que se le haya asignado (Imagen 10).



Imagen 10: Pantalla TOUCHPILOT integrada

En caso de fallo por falta de potencia, caudal o flujo o cualquier error referente al funcionamiento de la BCAT, salta un sistema de alarma que facilita detectar el fallo, mostrando en la propia pantalla cuál ha sido o está siendo el error. Una vez corregido el fallo, solo podrá accederse a los parámetros con una clave de seguridad asignada por el cliente.

Dispone de opción remota gracias al puerto de serie RS485, facilitando el diagnóstico, monitoreo y control de manera remota. Tiene dos opciones de opción remota, una estándar y otra EMM (Energy Managment Module), siendo esta última la más completa (Carrier, Datos de selección de productos).

1.1.1. Sistema Control Remoto por EMM

Este sistema es interno de la BCAT. Permite realizar y conocer los siguientes puntos de manera remota:

- Restablecer el set-point o punto de consigna en función de la temperatura ambiente del interior del edificio.
- Limitar la potencia o corriente máxima de la bomba de calor en función de una señal de 4-20 mA.
- Limitar la potencia del compresor según unos valores predefinidos.
- Seguridad del usuario, según el bucle de seguridad que haya definido el cliente.
- Anular el horario.
- Detectar una alerta.
- Saber si la máquina está fuera de servicio.
- Conocer la capacidad de la Bomba de Calor.

1.2. Compresor

El compresor es el modelo 06T de Carrier (imagen 11), diseñado para funcionar con el refrigerante HFO-1234ze.

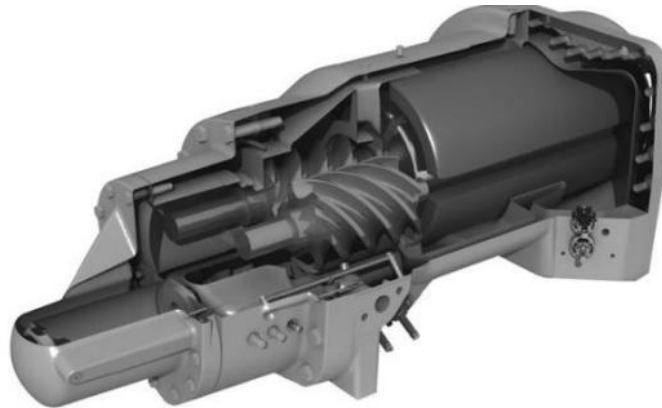


Imagen 11: Compresor de tornillo 06T

Está equipado con cojinetes con rodillos de gran tamaño, lubricados a presión de aceite para un funcionamiento confiable y duradero, incluso a máxima carga. Tiene una válvula de control variable controlada por la presión del aceite, permitiendo una capacidad de enfriamiento variable. Este sistema permite un ajuste óptimo de la capacidad de calefacción del compresor y garantizar una estabilidad alta de temperatura de salida del agua caliente.

Entre otras ventajas, si se produce una avería, como por ejemplo, que el compresor esté sucio o la temperatura del agua sea muy alta, el compresor no se apaga, sino que continúa en funcionamiento a capacidad reducida (modo sin carga).

Este modelo puede trabajar con parcialización de etapas, siendo la mínima al 30%, o continua, sin afectar al rendimiento. Tiene un COP elevado de 5 kW/kW. Es de desplazamiento positivo, esto quiere decir que comprime todo el gas que le llega sin dar opción al retroceso.

No precisa de mantenimiento durante la vida de la Bomba de Calor, salvo las comprobaciones rutinarias de apriete y limpieza de conexiones eléctricas en las bornas del motor. Lo que implica menor coste de mantenimiento.

Dispone de una tarjeta electrónica de protección que vigila la maniobra de arranque, la temperatura del motor, la pérdida de una fase y la inversión de fases. Además, vigila la corriente absorbida y dispone de un algoritmo de descarga progresiva de potencia si las condiciones de funcionamiento se aproximan a los límites.

1.2.1. Funcionamiento del compresor

En un compresor de tornillo el gas fluye entre un lóbulo macho y el valle de un rotor hembra. Este espacio se mueve debido a la rotación quedando sellado respecto a la toma de aspiración y descarga. En este punto el volumen del gas contenido es máximo y genera el desplazamiento teórico del compresor. A continuación, al decrecer el volumen hasta el mínimo comienza la compresión. De ahí, al continuar la rotación el gas, se pone en contacto la descarga.

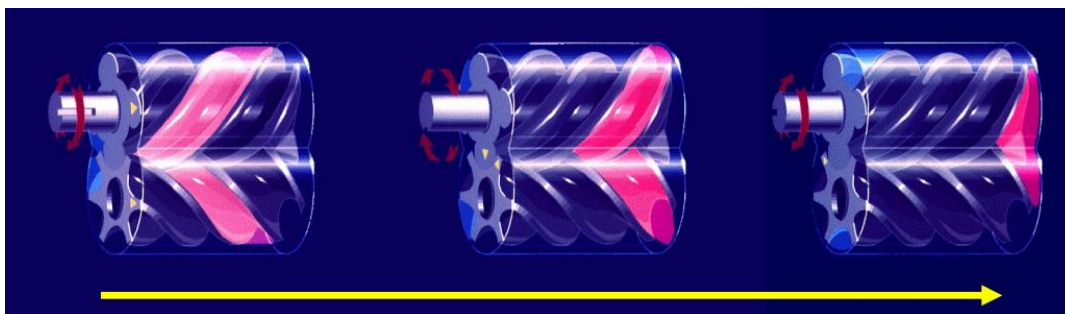


Imagen 12: Funcionamiento del compresor. (Fuente: Presentación Formación Carrier)

1.3. Refrigerante

El refrigerante que se utiliza en una Bomba de Calor de Alta Temperatura es el gas R-1234ze. Es un HFO con potencial de calentamiento casi nulo ($GWP < 1$) y un potencial de agotamiento de ozono nulo ($ODP = 0$). Los refrigerantes clasificados como HFO han demostrado ser la solución a largo plazo para cumplir con los objetivos de 2030. Con lo cual, no se ve afectado por el plan de reducción de HFC del 79% en Europa y cumple con la Regulación de Refrigerantes en Suiza, que prohíbe el uso de refrigerantes HFC en equipos de climatización de gran capacidad. La siguiente imagen es una visual de los objetivos a cumplir en la reducción gradual de los HFC en relación a las toneladas equivalentes de CO_2 .



Imagen 13: Consumo de HFC relacionado con emisiones equivalentes de CO_2 (Fuente: Presentación de Carrier por Joaquín Fernández)

Es del Tipo A2L en la Clasificación de Seguridad según ISO-817, esto significa que es ligeramente inflamable, pero no a temperatura ambiente y que tiene baja velocidad de combustión. Su aspecto es incoloro y su fórmula molecular es $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}$ (Carrier, Refrigerantes PUREtec, 2024).

Además, supone ventajas adicionales, como el incremento de la eficiencia estacional de hasta el 5% en comparación con el R-134a y la reducción de la huella de carbono en un 10%, considerando los efectos directos (PCA del gas) e indirectos (eficiencia de equipos). Para minimizar la posibilidad de fallas, los componentes principales de la máquina se han probado con el refrigerante (ESEficiencia, 2018). A continuación, se muestra un símil del impacto directo de los gases de efecto invernadero según su PCA (GWP en inglés) (imagen 14):

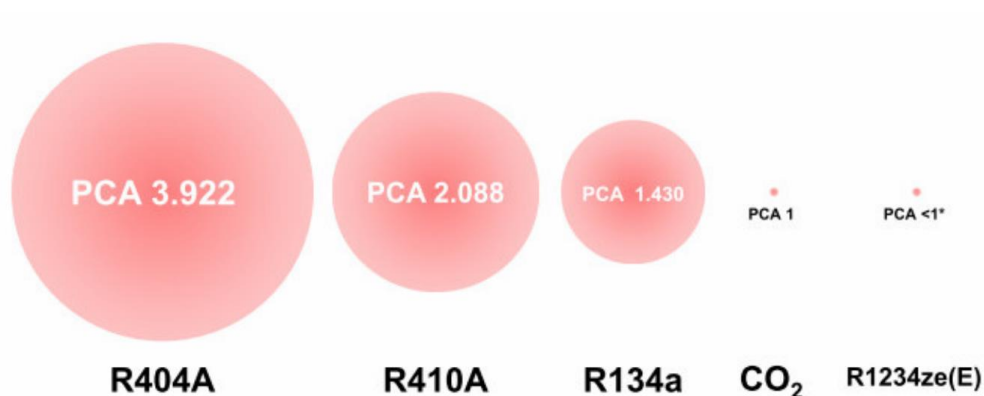
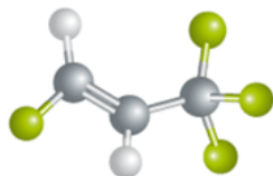


Imagen 14: Impacto directo de los gases de efecto invernadero (Fuente: Quinto informe de evaluación del IPCC)

En la siguiente imagen (imagen 15) se muestra una tabla resumen de las características principales del R-1234ze. Donde se puede comprobar que se utiliza en compresores de tornillo y cómo es en el caso de las Bombas de Calor de Alta Temperatura:



HFO-R1234ze(E)

PCA < 1 (AR5)

PCA < 7 (AR4)

HFO significa HidroFluoroOlefina

PURETEC HFO-R1234ze(E)	
Afectado por el Reglamento F-Gas	NO. PCA <1 (AR5) & PCA <7 (AR4)
Afectado por el Impuesto Gases Español	NO
Afectado por la Normativa ADR de Transporte de Mercancías Peligrosas	NO Grupo 2.2. NO Inflamable & NO Tóxico Vent. no motorizada vehículos
Clasificación PED (23/97/UE & 68/2014/UE)	Grupo 2 NO Peligroso
Clasificación ASHRAE / ISO / prEN 378	A2L Ligeramente inflamable NO inflamable a Tª ambiente Baja velocidad combustión
Clasificación RSIF	A2 (Ligeramente inflamable) L2 (media seguridad)
Almacenamiento	RSIF Artículo 27 ITC MIE APO-5
Solución actual de Largo Plazo	SI. Para tecnologías de compresión de TORNILLO y CENTRÍFUGA.
Introduce restricciones al crecimiento del mercado HVAC al restringir los Kg puestos en el mercado	NO
Aplicaciones	Sistemas hidrónicos Indirectos cerrados purgados
Restricciones de carga en la instalación	NO Clase III (prEN378) Categoría D-3 (RSIF)

Imagen 15: Características refrigerante R-1234ze (Fuente: Presentación de Carrier por Joaquín Fernández)

1.3.1. Trabajo del refrigerante

El mapa de operación del R-1234ze permite alcanzar mayores temperaturas de trabajo a menores presiones de funcionamiento al compararse con el intervalo de trabajo del R-134a. Se muestra un diagrama de Mollier con los parámetros de trabajo de cada refrigerante.

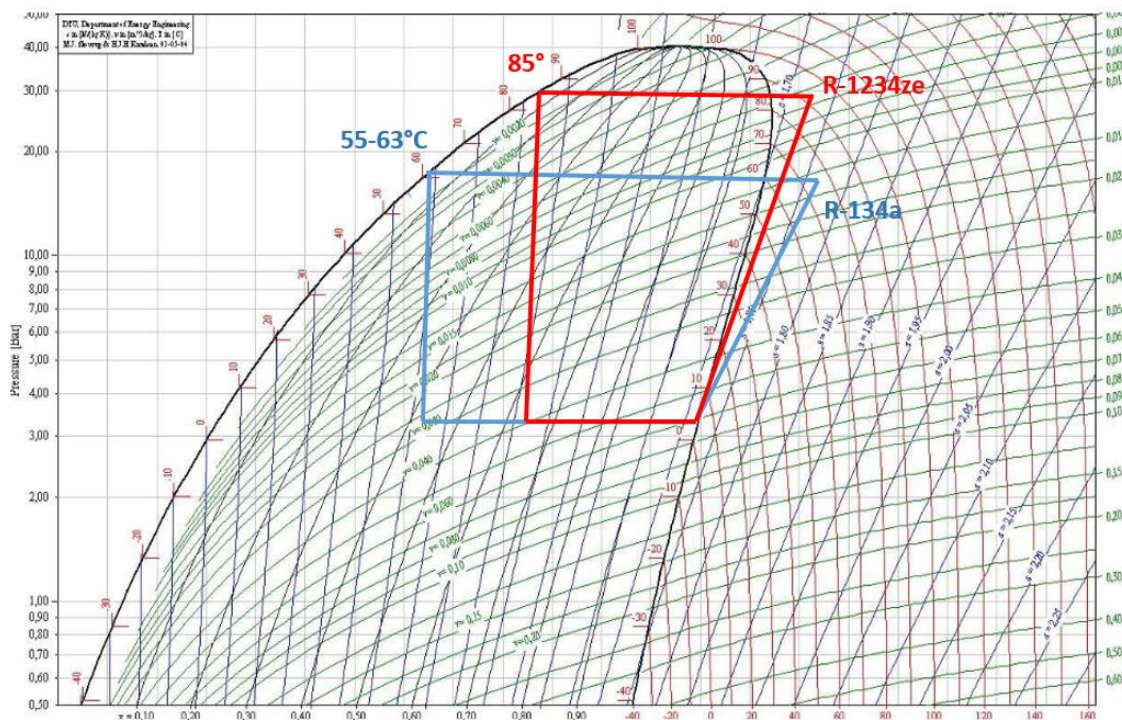


Imagen 16: Diagrama de Mollier: Comparativa entre el R-123a y R-1234ze

El principal motivo por el que la BCAT es capaz de conseguir generar calor y frío simultáneamente es el uso del R-1234ze, con el que se consigue que en condiciones de evaporación de 15° - 10°C de agua en el intercambiador, la temperatura de producción de agua caliente pueda alcanzar los 85°C en un solo ciclo y no en ciclos de doble cascada.

El ciclo del refrigerante pasa por dos etapas gracias al economizador. El sistema tiene dos válvulas de expansión. La principal, que es la que lleva el refrigerante directamente al evaporador, y la del economizador, donde se produce una segunda expansión. En la siguiente imagen se pueden observar ambas válvulas (imagen 17):

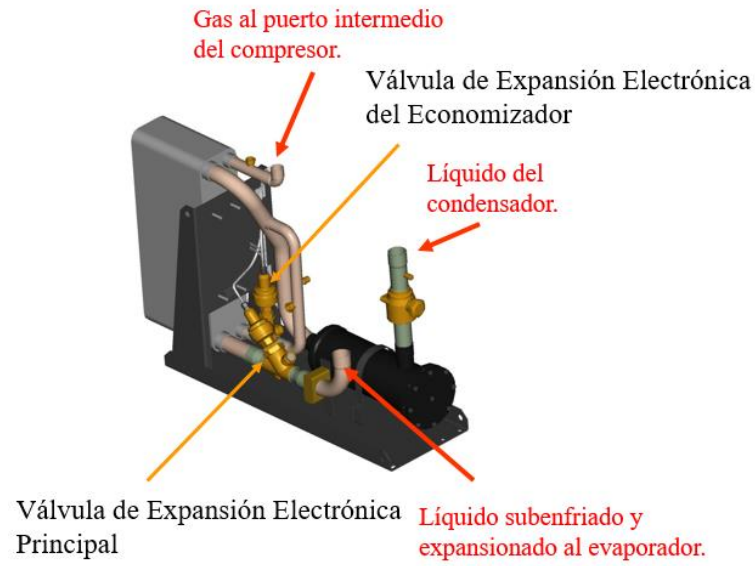


Imagen 17: Válvulas de expansión (Fuente: diapositivas Carrier, por Joaquín Fernández)

1.3.2. Economizador

El economizador tiene como principal objetivo aumentar la capacidad del compresor, consumiendo menos energía.

Introduce un doble proceso de expansión y una compresión en dos etapas del gas refrigerante. Consigue aumentar el EER hasta un 4% más y la capacidad entre el 11% y el 15%.

La máquina dispone de 92 kg de gas refrigerante del cual un tanto por ciento del flujo es enviado al evaporador y el tanto por ciento restante, no expansionado, se envía al compresor para enfriar la parte del refrigerante que se ha ampliado. Es decir, el compresor se refrigera con el propio gas que comprime, para evitar que el aceite se caliente mucho, se degrade y deje de funcionar como lubricante del compresor.

A continuación, se muestra el diagrama de trabajo presión - entalpía del refrigerante (imagen 18):

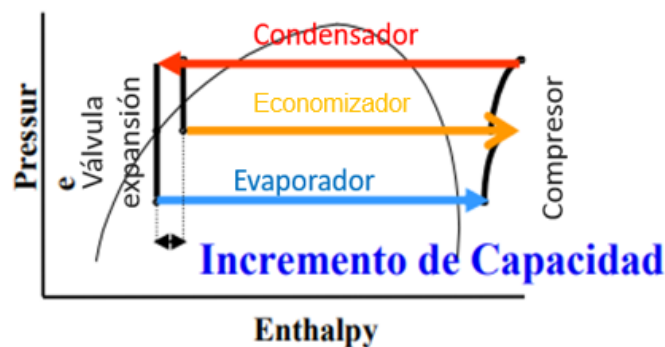


Imagen 18: Diagrama p-h del refrigerante (Fuente: presentación de Carrier, por Joaquín Fernández)

En el Anexo III se adjunta el esquema PID de la máquina, donde se pueden observar todos los puntos de funcionamiento comentados.

2. EL CIRCUITO

Como se ha comentado anteriormente, el hotel dispone de diversos circuitos:

- Climatización salones
- Climatización habitaciones
- Calefacción habitaciones
- Calefacción salones
- Condensación contra torres
- Condensación contra piscina
- ACS
- Recuperación de calor y precalentamiento del ACS

La BCAT instalada se encarga, por un lado, de generar parte del frío destinado a los circuitos de refrigeración. En concreto, a la climatización de todo el hotel (salones, habitaciones, despachos, zonas comunes...). Y por el otro, de calentar los 4 depósitos destinados al consumo del ACS. En la imagen 19 se muestra la BCAT ya instalada, entre los depósitos de inercia (frío y calor).



Imagen 19: Instalación BCAT

Los depósitos de inercia están destinados a la acumulación de agua de los circuitos primarios y tienen la función de reducir las interrupciones de funcionamiento de la BCAT, mejorando así su rendimiento.

2.1. Frío

El frío se genera en el evaporador. El agua entra en el evaporador alrededor de 12°C, pasa por el intercambiador tubular dos veces. Este está inundado con el refrigerante y al pasar el agua, hace que se enfríe 5°C y salga del evaporador a 7°C.

El agua a 7°C es enviada al colector de frío por una bomba hidráulica (fabricante: WILO). Este colector es común para todos los circuitos. El agua se distribuye a los diversos circuitos de climatización gracias a otras bombas hidráulicas ya instaladas.

Los circuitos de climatización son circuitos cerrados, con lo cual una vez pasan por los elementos terminales (fancoils y UTAs, principalmente), el agua se recoge en otro colector, “Colector de Retorno de Refrigeración”. De ahí, es impulsada a dos intercambiadores de placas, donde se produce el intercambio con agua del circuito de condensación de las torres de refrigeración (21°C) para asegurar que el agua entre en la BCAT a la temperatura de consigna (normalmente 12°C) y seguidamente, es enviada al depósito de inercia de frío.

Una vez pasa por el depósito de inercia, entra en el evaporador de la BCAT y vuelve a empezar el ciclo.

2.2. Calor

El agua caliente se genera en el condensador de la BCAT. Se le pide una temperatura de consigna a la máquina, normalmente 70°C y un salto térmico de 10°C. Es decir, el agua entra en el condensador alrededor de 60°C, se calienta dentro del mismo hasta 10°C más y sale del condensador alrededor de 70°C.

Los depósitos de ACS son acumuladores y no interacumuladores con serpentín integrado, lo que conlleva hacer una partición de circuitos de ACS: primario y secundario. El agua que sale del condensador forma parte del circuito primario (circuito cerrado), esta es enviada a dos intercambiadoras de placas, donde se intercambia con el circuito secundario (circuito abierto). Este circuito es el agua de red (la temperatura media en Madrid son 13°C) y la calienta hasta 60°C

para ser enviada a los depósitos donde posteriormente se consume por el servicio y los clientes del hotel.

El circuito primario, una vez pasa por los intercambiadores, envía el agua de retorno a una válvula de 3 vías. Esta v3v regula la cantidad de agua que es enviada al depósito de inercia de calor y la cantidad de agua que es enviada a la expansión contra el colector de calor de calefacción de salones. En la expansión es donde se evita que el sistema supere la presión máxima de trabajo, en este caso, a 3 bar.

Una vez el agua pasa por el depósito de inercia de calor, vuelve a entrar en el condensador a 60°C y vuelve a empezar el ciclo.

En el Anexo IV se adjunta el esquema de principio y distribución de ambos circuitos, donde se puede apreciar en detalle la explicación facilitada en los puntos 2.1. y 2.2.

3. SISTEMA DE CONTROL POR BMS

Para el control del circuito se ha instalado un sistema BMS. Es un sistema de control inteligente que permite dar marcha de arranque y paro a cada elemento del circuito y al igual, regular el punto de funcionamiento de cada uno de ellos según los parámetros consignados o un horario concretado anteriormente. Esto es posible gracias a la instalación de sondas de presión y temperatura, al cableado de las mismas y a concentradores instalados en un cuadro eléctrico.

Además, el BMS tiene otras funciones, como la recopilación de datos de los dos últimos años y un sistema de alarmas. Gracias a la recopilación de datos, se puede conocer y reflejar en gráficas cuál ha sido el funcionamiento de las máquinas y comprobar si ha habido alguna anomalía o si es necesario realizar alguna modificación en los parámetros consignables.

El sistema de alarma se encarga de enviar un email a todos los correos introducidos para, en caso de que haya alguna avería o exista alguna anomalía grave que influya directamente en el funcionamiento del hotel, poder solucionarlo a la mayor brevedad posible.

Para poder conocer el funcionamiento de la instalación y poder actuar sobre ella, se han realizado unas pantallas muy intuitivas. En ellas se pueden cambiar los parámetros de consigna (los números que aparecen en color azul), por ejemplo, según la temperatura exterior o la estación del año o si el hotel no tiene mucha demanda porque no tenga mucha ocupación o al contrario, tenga demasiada demanda y haya que cubrirla.

La primera pantalla es la de inicio (imagen 20) donde se puede ver un resumen del funcionamiento de todos los circuitos. Las pantallas referentes a la BCAT son las marcadas en la imagen 20 con cuadros de color marrón.

A la derecha de la imagen se muestran las gráficas de temperaturas medias recogidas en los depósitos de ACS y la temperatura de impulsión del circuito primario de calderas, encendidas en este caso (abril 2023) solo para generar calefacción de habitaciones y salones.

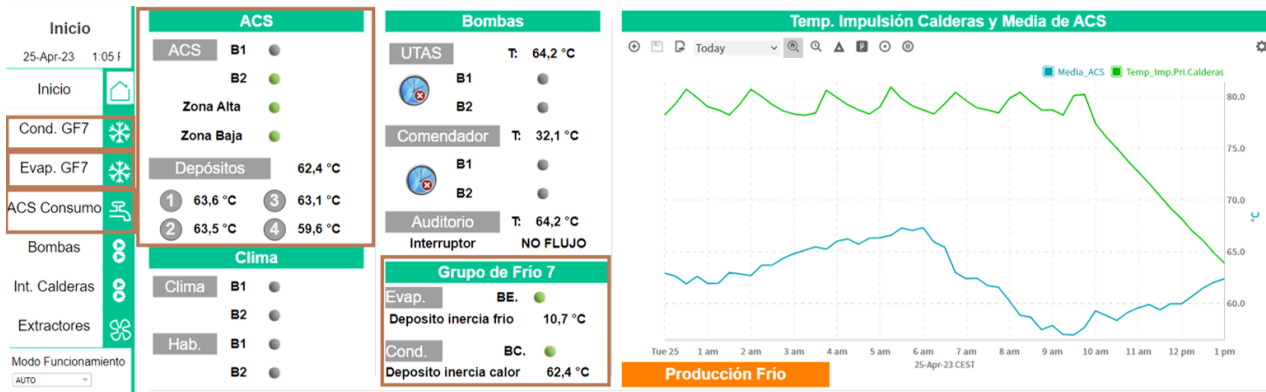


Imagen 20: Pantalla inicio BMS

Si se clicka en la pestaña 'Evap. GF7', se abre la pantalla referente al control del evaporador, donde se aprecian todos los elementos del circuito de la refrigeración. En este caso, para poder darle arranque a la máquina solo sería necesario poner la bomba hidráulica 'BE' en automático y ajustar la temperatura de consigna y la del salto térmico (imagen 21).

Pantalla del evaporador:

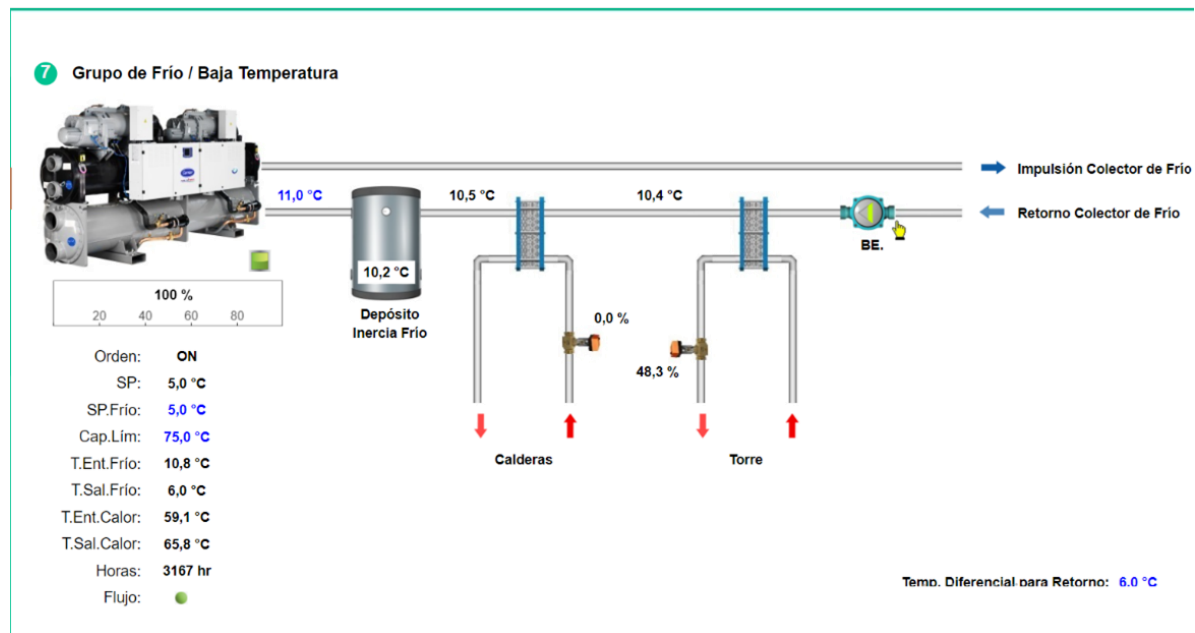


Imagen 21: Pantalla evaporador BMS

Al clicar en la pestaña ‘Cond. GF7’ va directamente a la pantalla de control del condensador. En este caso solo será necesario poner la ‘BC’ en automático y ajustar la temperatura de consigna según requiera el hotel.

En el caso de la imagen 22, la consigna está en 67°C (aparece en color azul en la esquina superior derecha de la pantalla). En ambas pantallas (imágenes 19 y 20) se recogen las horas de funcionamiento del condensador y del evaporador, además de los puntos de consigna, capacidad límite de temperatura de funcionamiento, el estado (ON, OFF o Retardo), temperaturas de entrada y salida, el punto de consigna o SP y el porcentaje de funcionamiento de la máquina que, como se ha comentado anteriormente, no puede trabajar a menos del 30% por el rendimiento del compresor (capítulo 2, apartado 1.2).

Pantalla del condensador:

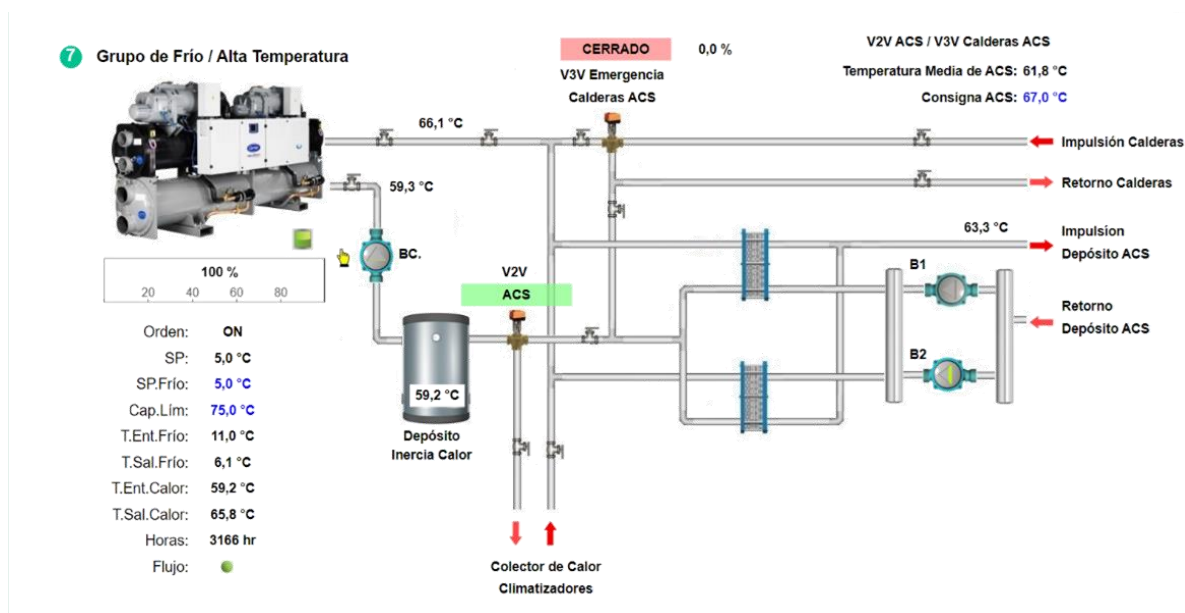


Imagen 22: Pantalla condensador BMS

Por último, la pantalla de ‘ACS Consumo’, donde se pueden apreciar los 4 depósitos comentados anteriormente con sus respectivos estados de temperatura. Como se puede apreciar en la imagen 23, todos los depósitos se encuentran a más de 60°C.

Pantalla de consumo de ACS:

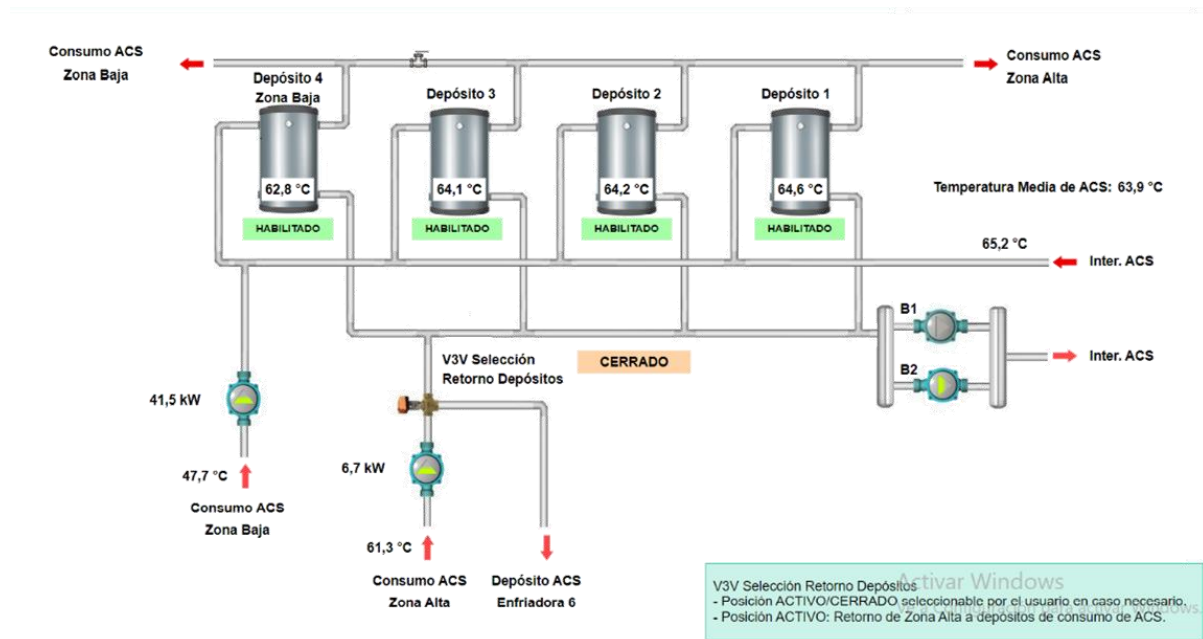


Imagen 23: Pantalla consumo ACS BMS

El sistema de control por BMS hace que la instalación sea aún más eficiente, debido a que le manda al circuito las órdenes que necesita en función de la demanda y temperatura. Consiguiendo la reducción de horas de funcionamiento de todas las bombas gracias a los variadores que acompañan a cada bomba y parcializando el funcionamiento de la BCAT, ayudando a que consuma la menos energía posible y mejorando aún más su rendimiento.

4. DATOS DE FUNCIONAMIENTO

Para poder conocer los datos de funcionamiento de la máquina se han instalado equipos de monitorización. Estos equipos se encargan de recoger toda la información eléctrica de los elementos de la instalación, tomada gracias a pequeños transformadores implantados en los finales de línea de cada diferencial, y la información térmica recogida en los contadores instalados, junto a dos caudalímetros y cuatro sondas de temperatura.

En el caso de la BCAT, se han instalado dos contadores térmicos, ambos a la salida del agua de la máquina, uno para el circuito de calor y otro para el circuito de frío.

Los datos recogidos se envían a una plataforma generada por Stratenergy. La plataforma se llama MIDE y su enlace es el siguiente: <https://mide.stratenergy.es/login>. En MIDE se pueden ver los datos de funcionamiento de la BCAT a través de medidores. Se pueden ver tanto los valores numéricos, como gráficos, según el período que se elija, como se puede ver en la imagen 24:



Imagen 24: Ejemplo pantalla plataforma MIDE

A continuación, se mostrará un resumen de los datos de consumo eléctrico y generación térmica mensuales recogidos en 2023 junto a sus gráficas y el rendimiento de la máquina cada mes. El modelo de cálculo se adjunta en el Anexo V.

Las gráficas que van a mostrarse están en potencia, para poder visualizar el minuto a minuto de funcionamiento de la máquina. Siendo la potencia eléctrica, la 'Potencia activa +' y la térmica, 'Potencia Actual'.

Para saber qué gráfica pertenece a cada medidor, se adjunta una guía de colores en la siguiente imagen (imagen 25).

- B.C AT
- BCAT-CONDENSACIÓN
- BCAT-EVAPORACIÓN

Imagen 25: Guía de colores para las gráficas del rendimiento

Siendo:

- BC. AT → consumo eléctrico
- BCAT - Condensación → generación de calor
- BCAT - Evaporación → generación de frío

Enero

E. eléctrica = 0 kWh

E. térmica (refrigeración) = 0 kWh

E. térmica (calor) = 0 kWh

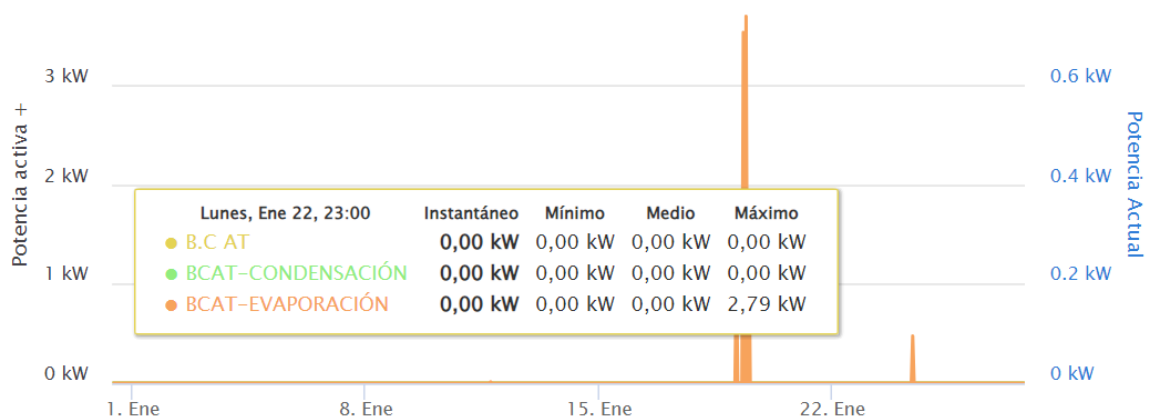


Imagen 26: Gráfica rendimiento enero

Febrero

E. eléctrica = 30.818,90 kWh

E. térmica (refrigeración) = 61.069,32 kWh

E. térmica (calor) = 91.603,98 kWh



Imagen 27: Gráfica rendimiento febrero

Marzo:

E. eléctrica = 2.386,50 kWh

E. térmica (refrigeración) = 5.580,67 kWh

E. térmica (calor) = 8.371,01 kWh

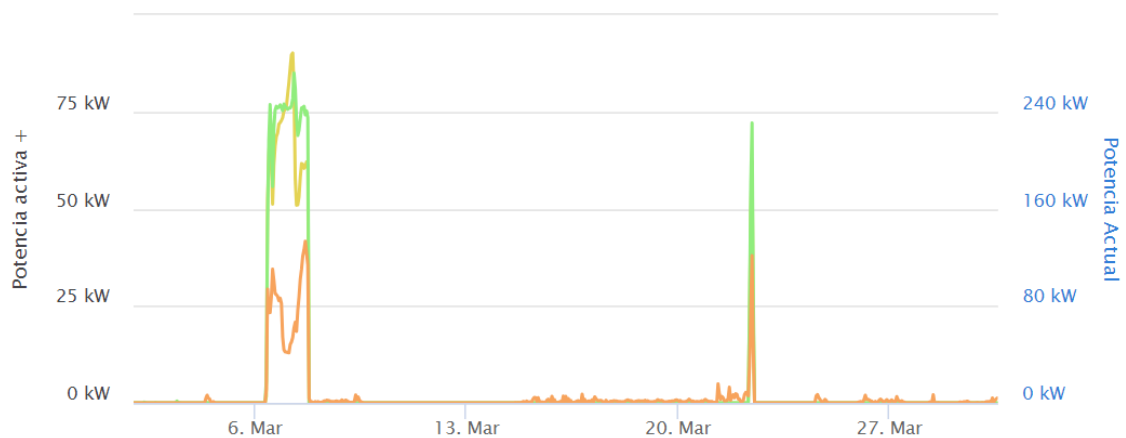


Imagen 28: Gráfica rendimiento marzo

Abril:

E. eléctrica = 36.141,00 kWh

E. térmica (refrigeración) = 68.974,68 kWh

E. térmica (calor) = 103.462,02 kWh

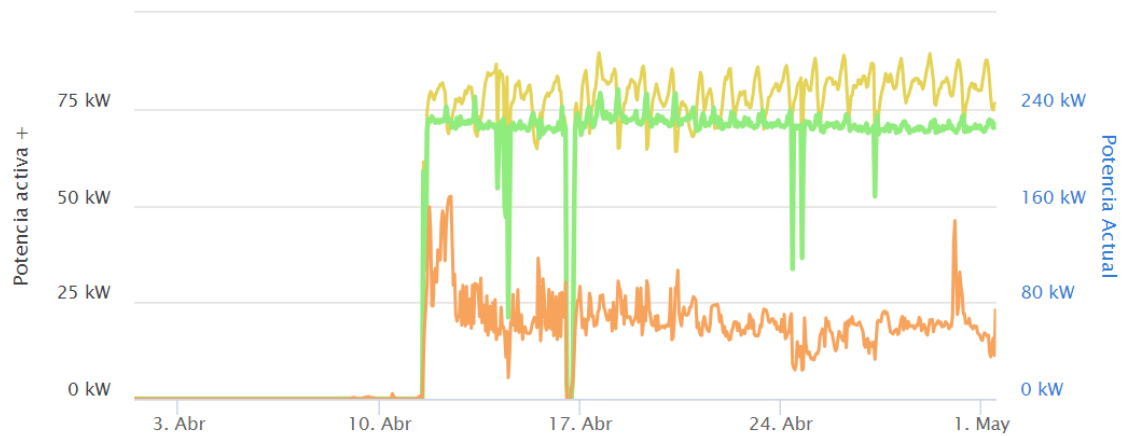


Imagen 29: Gráfica rendimiento abril

Mayo:

E. eléctrica = 37.427,30 kWh

E. térmica (refrigeración) = 68.845,31 kWh

E. térmica (calor) = 103.267,97 kWh

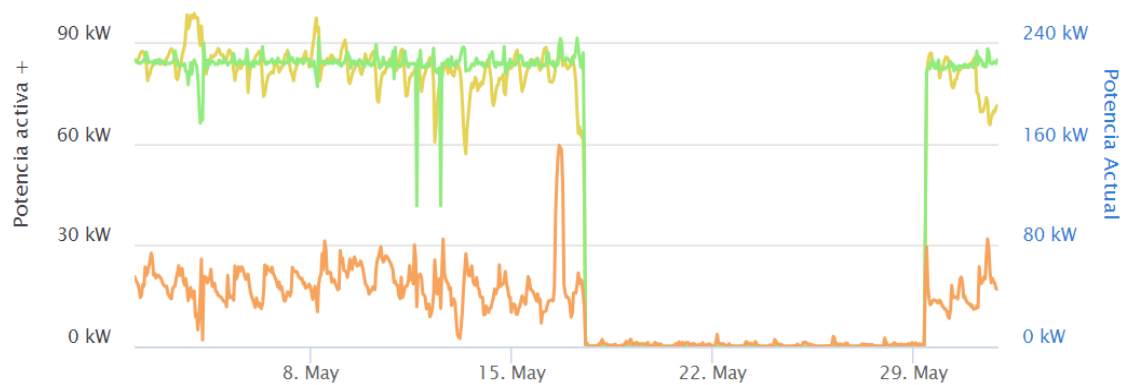


Imagen 30: Gráfica rendimiento mayo

Junio:

E. eléctrica = 21.928,59 kWh

E. térmica (refrigeración) = 32.346,03 kWh

E. térmica (calor) = 48.519,04 kWh

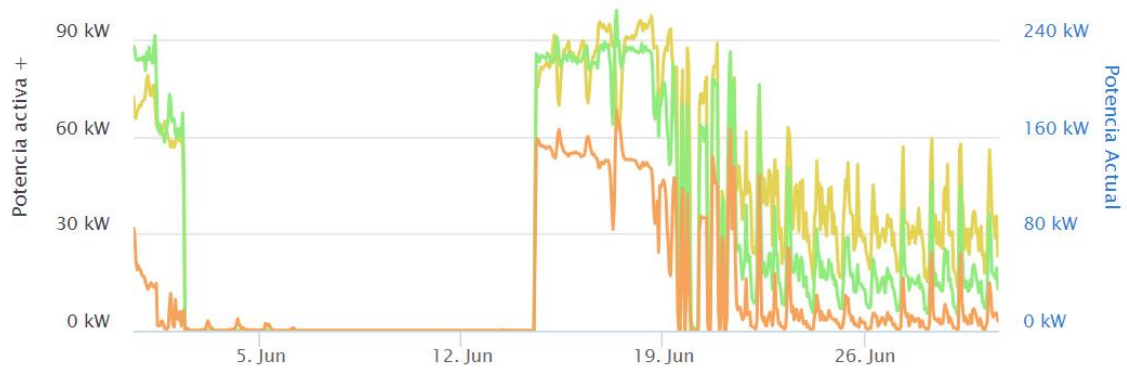


Imagen 31: Gráfica rendimiento junio

Julio:

E. eléctrica = 21.937,82 kWh

E. térmica (refrigeración) = 20.637,31 kWh

E. térmica (calor) = 30.955,97 kWh

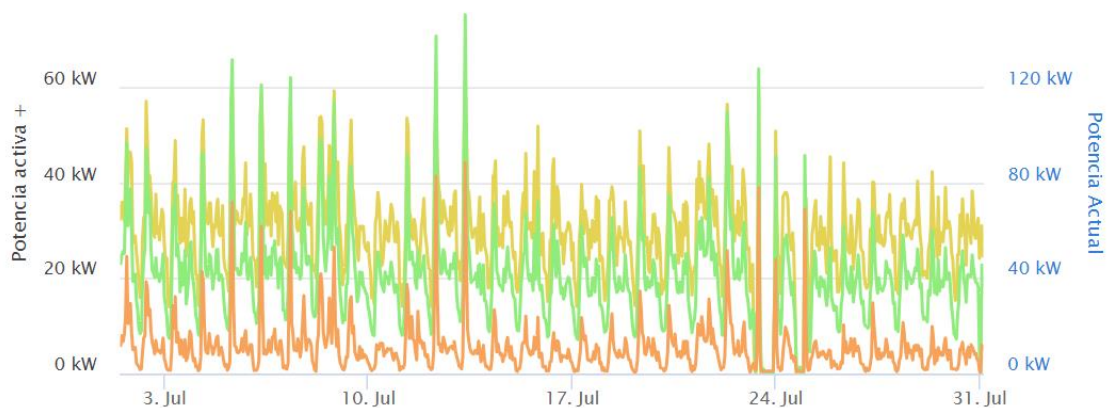


Imagen 32: Gráfica rendimiento julio

Agosto:

E. eléctrica = 36.028,78 kWh

E. térmica (refrigeración) = 55.924,69 kWh

E. térmica (calor) = 83.887,04 kWh

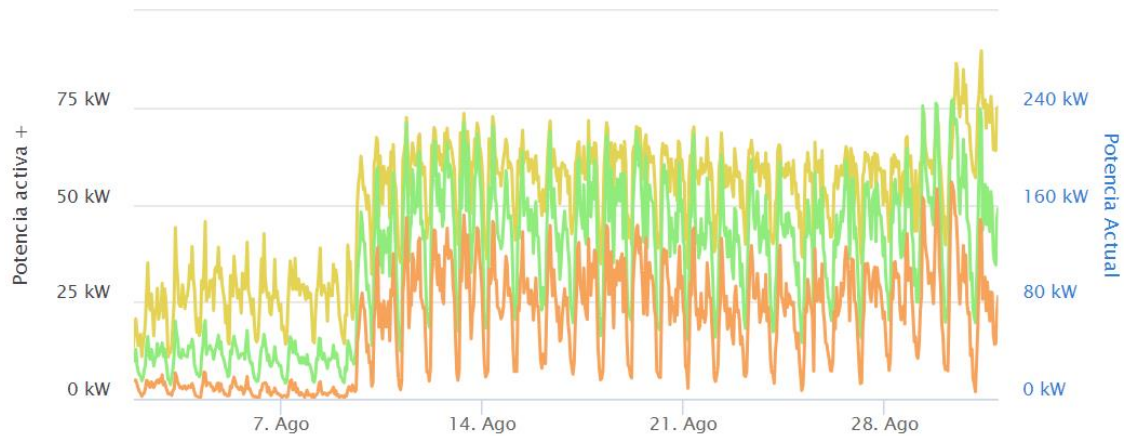


Imagen 33: Gráfica rendimiento agosto

Septiembre:

E. eléctrica = 51.130,62 kWh

E. térmica (refrigeración) = 79.497,30 kWh

E. térmica (calor) = 119.245,95 kWh

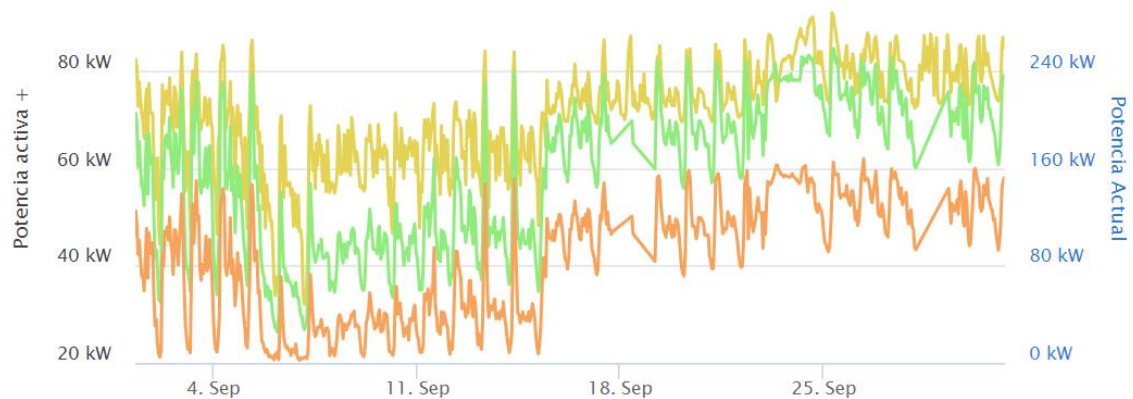


Imagen 34: Gráfica rendimiento septiembre

Octubre:

E. eléctrica = 36.562,08 kWh

E. térmica (refrigeración) = 58.396,03 kWh

E. térmica (calor) = 87.594,05 kWh

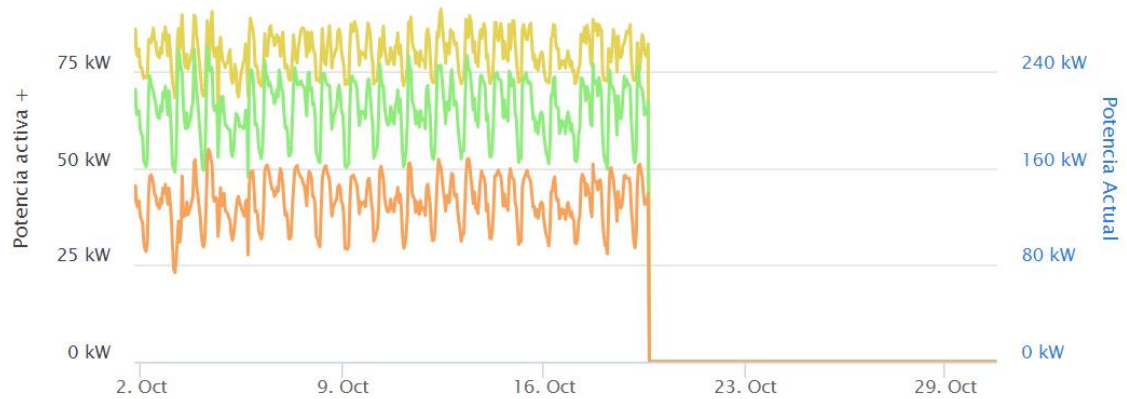


Imagen 35: Gráfica rendimiento octubre

Noviembre:

E. eléctrica = 0 kWh

E. térmica (refrigeración) = 0 kWh

E. térmica (calor) = 0 kWh

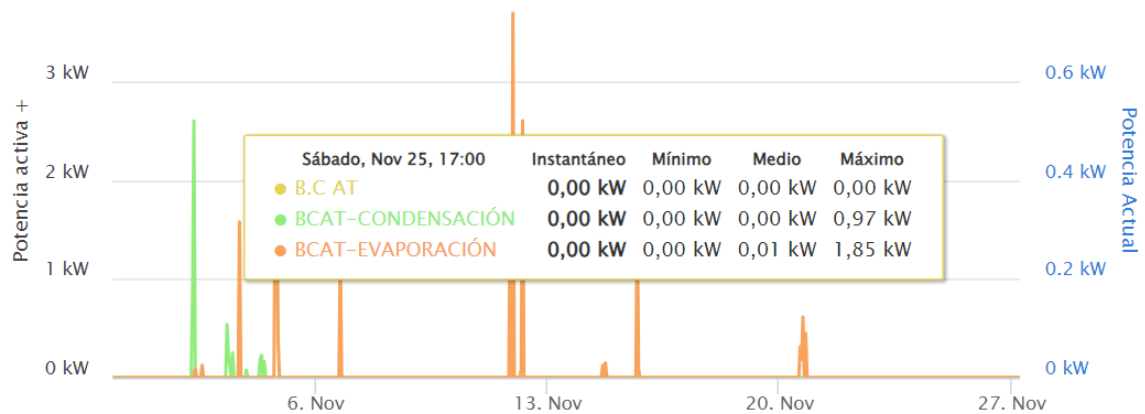


Imagen 36: Gráfica rendimiento noviembre

Diciembre:

E. eléctrica = 0 kWh

E. térmica (refrigeración) = 0 kWh

E. térmica (calor) = 0 kWh



Imagen 37: Gráfica rendimiento diciembre

4.1. Cálculo de la Eficiencia Energética

En el rendimiento de equipos de climatización, influyen factores como los accesorios y tuberías, las temperaturas de entrada y salida del agua y la temperatura exterior. En este caso, al ser un hotel de gran capacidad, va a depender también de la ocupación y demanda de ACS.

El rendimiento o eficiencia energética en equipos de climatización o de aires acondicionados con refrigerantes, como climatizadores, enfriadoras, bombas de calor, etc. Se mide por los ratios: EER, SEER, COP y SCOP.

El EER es una medida de la eficiencia energética de un sistema de aire acondicionado cuando está funcionando en modo de refrigeración. Se calcula dividiendo la capacidad de enfriamiento del sistema por la cantidad de energía eléctrica que consume. Cuanto mayor sea el EER, más eficiente será el sistema de aire acondicionado en términos de consumo de energía. El SEER es similar al EER, pero en lugar de medir la eficiencia en un solo punto en el tiempo, mide la eficiencia a lo largo de una temporada completa de refrigeración.

El COP mide la eficiencia de un sistema energético cuando está en funcionamiento en modo de calefacción. Se calcula dividiendo la cantidad de energía térmica que el sistema produce en vatios por la cantidad de energía eléctrica que consume en vatios. Mientras mayor sea, mayor será la eficiencia.

Y, el SCOP, es similar al SEER, pero en vez de medir la eficiencia del sistema de refrigeración a lo largo de toda una temporada, mide esta misma métrica pero en funcionalidad de calefacción. Se calcula dividiendo la cantidad total de energía térmica que el sistema produce durante la temporada de calefacción por la cantidad total de energía eléctrica que consume en vatios-hora (Rodríguez, 2023).

En el caso de una BCAT, al producir frío y calor simultáneamente no se pueden utilizar ninguno de los métodos de cálculo de rendimiento nombrados. Hasta la fecha, el cálculo de dicho rendimiento se calcula con la ecuación (1):

$$Rendimiento = \frac{E. Eléctrica}{(E. térm. ev. + E. térm. cond)} \quad (1)$$

El rendimiento se ha calculado en el Anexo V. A continuación, se muestra un resumen del anexo y un análisis del mismo.

Un buen rendimiento en bombas de calor está entre 2 y 6. En este caso, el rendimiento de la máquina ha estado entre dichos valores todos los meses, a excepción de julio, donde la máquina ha estado funcionando a marcha-paro continuamente, como se puede comprobar en la gráfica de dicho mes (imagen 30). Se debe a las altas temperaturas ambientes y la baja ocupación del hotel.

En las tablas 7 y 8, se recogen los datos acumulados de cada mes y los valores calculados del rendimiento.

Tabla 7: Resumen demanda/generación 2023

Mes	Eléctrica (kWhe)	Térmica (kWht)
Enero	0,00	0,00
Febrero	30.818,90	152.673,31
Marzo	2.386,50	13.951,68
Abril	36.141,00	172.436,69
Mayo	37.427,30	172.113,28
Junio	21.928,59	80.865,07
Julio	21.937,82	51.593,28
Agosto	36.028,78	139.811,73
Septiembre	51.130,62	198.743,25
Octubre	36.562,08	145.990,08
Noviembre	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00
Año 2023	269.737,38	918.765,68

Tabla 8: Rendimiento BCAT 2023

Mes	Rendimiento
Enero	-
Febrero	4,95
Marzo	5,85
Abril	4,77
Mayo	4,60
Junio	3,69
Julio	2,35
Agosto	3,88
Septiembre	3,89
Octubre	3,99
Noviembre	-
Diciembre	-
Año 2023	4,11

4.2. Inconveniente

Como se puede comprobar en el apartado anterior, los meses de más frío, enero, noviembre y diciembre la máquina no tuvo consumo. Es decir, se mantuvo parada. Esto se debe a que al ser los meses más fríos del año, el hotel no demanda frío (*).

El inconveniente de la BCAT en este caso, es que como bien se ha comentado en el capítulo 2, para poder generar calor necesita generar frío simultáneamente, al no consumir el hotel frío durante estos meses, este no se disipa y la máquina baja su rendimiento. Por lo que el tiempo de inercia para calentar los depósitos pasa a ser de una hora y media a tres horas. En horas pico de consumo, sobre todo a primera hora de la mañana (entre las 7:00 y las 8:00), la BCAT no es capaz de calentar 12.000 litros de agua sin disipar el frío.

Durante los tres meses mencionados, el hotel estuvo generando calor con las calderas de gas y el poco frío que demandaban, con una enfriadora.

(*) Los picos que aparecen en las gráficas de enero, noviembre y diciembre (imágenes 24, 34 y 35) se deben a una pequeña recirculación de agua, forzada para la realización de mantenimientos en la máquina.

5. REDUCCIÓN EMISIONES DE CO₂

Como se ha comentado a lo largo de todo el proyecto, el principal objetivo del mismo es reducir las emisiones de CO₂ del Hotel Meliá Castilla con la instalación de una primera Bomba de Calor de Alta Temperatura para la producción del ACS y la climatización de habitaciones y salones.

Para el cálculo de las emisiones solo se ha tenido en cuenta la energía térmica calorífica generada con la BCAT debido a que el hotel cuenta con un factor de emisiones eléctricas cero, gracias a que los kWh suministrados disponen de GdO.

Durante los meses de funcionamiento de la máquina, esta ha generado todo el calor del ACS del hotel. Es decir, todos los kWh térmicos caloríficos generados con la BCAT se han consumido para dar todo el servicio de ACS. Lo que implica, que el hotel no ha consumido gas natural para generar este calor.

Para poder conocer la reducción las toneladas de CO₂, primero es necesario pasar los kWh térmicos de PCS a PCI, dividiendo entre 0,901 (tabla 9), según el MITECO de 2023 (OECC, 2023). Al mismo tiempo, se vuelve a fraccionar entre el rendimiento de las calderas existentes en el hotel (0,88), como se indica en el punto 2 del capítulo 1. Esto se hace para generar una equivalencia entre la BCAT y las calderas. Por lo tanto, queda la siguiente ecuación:

$$E. \text{ térmica gas natural} = E. \text{ térm. cond.} / 0,901 / 0,88 \quad (2)$$

Una vez realizado el cálculo de la ecuación (2), hay que multiplicar los resultados por mil para pasar a toneladas y por el factor de emisión por gases, 0,182 (tabla 9) en el caso del gas natural, como se muestra en la ecuación número 3:

$$Emisiones CO_2 = E. \text{ térm. Gas natural} * 0,182 * 1000 \quad (3)$$

Tabla 9: Factores de emisión de gases. (Fuente: (OECC, 2023))

Factores de emisión (kgCO₂e/ud)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gasóleo C (l)	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721
Gasóleo B (l)	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721	2,721
Gas natural (kWh _{PCS})*	0,182	0,183	0,184	0,183	0,183	0,183	0,182	0,183	0,184	0,183	0,183	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182
Fuelóleo (l)	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124	3,124
LPG (l)	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545	1,545
Queroseno (l)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Gas propano (kg)	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966	2,966
Gas butano (kg)	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996
Gas manufacturado (kg)	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881
Biogás (kg)**	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Biomasa madera (kg)**	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
Biomasa pellets (kg)**	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171
Biomasa astillas (kg)**	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
Biomasa serrines virutas (kg)**	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
Biomasa cáscara f. secos (kg)**	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147
Biomasa hueso aceituna (kg)**	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153
Carbón vegetal (kg)**	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184
Coque de petróleo (kg)	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183
Coque de carbón (kg)	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036	3,036
Hulla y antracita (kg)	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138	3,138
Hullas subituminosas (kg)	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340

* Factor de emisión del gas natural expresado en kgCO₂/kWh_{PCS} (Poder Calorífico Superior). Para el caso de PCS a PCI se utiliza el factor de conversión de 0.901

La instalación de la BCAT ha supuesto la reducción del 17% de CO₂ del hotel, respecto a los datos de referencia de 2019 de la tabla 1. En total, 155 toneladas de CO₂.

Se muestra una tabla resumen de las toneladas reducidas mensualmente (tabla 10):

Tabla 10: tCO₂ reducidas mensualmente en 2023

Mes	Eléctrica (kWh _e)	Térmica condensador (kWh _t)	Térmica equivalente gas natural (kWh _t)	tCO ₂ reducidas
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	30.818,90	91.603,98	115.533,23	21,03
Marzo	2.386,50	8.371,01	10.557,72	1,92
Abril	36.141,00	103.462,02	130.488,87	23,75
Mayo	37.427,30	103.267,97	130.244,13	23,70
Junio	21.928,59	48.519,04	61.193,42	11,14
Julio	21.937,82	30.955,97	39.042,44	7,11
Agosto	36.028,78	83.887,04	105.800,42	19,26
Septiembre	51.130,62	119.245,95	150.395,96	27,37
Octubre	36.562,08	87.594,05	110.475,79	20,11
Noviembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Año 2023	274.361,60	676.907,02	853.731,99	155,38

El desarrollo de los cálculos se muestra en el Anexo V.

CAPÍTULO 3: Aspectos económicos

1. PLAN DE NEGOCIO

El proyecto se vendió con un modelo de ahorro. Este modelo se caracteriza porque Stratenergy actúa como promotor e inversor del proyecto y comparte con el hotel los ahorros generados. Este acuerdo se concreta mediante la firma de un contrato de 10 años de duración, donde Stratenergy se remunera con el 86% de los ahorros, quedando para el hotel un 14% de ahorro neto.

La inversión inicial fue 127.000 € solo en ejecución del proyecto (CAPEX), más 7.910 € de gastos del primer año (OPEX), asociados a mantenimiento, puesta en marcha, gestión energética y PRL. En total: 134.910 € de inversión.

Durante el período del contrato, Stratenergy se encargará de los costes OPEX: 600 € de gestión energética y 3.000 € de mantenimiento.

Por un lado, está la generación térmica, tanto de frío como de calor y por otro, el consumo de la máquina para dicha generación. Siendo la generación un ahorro y el consumo un coste.

Conociendo el consumo de gas natural para ACS en el año de referencia, se obtiene la demanda térmica según el rendimiento de las calderas existentes (88%) y el factor de conversión de PCS a PCI del gas natural. Se han calculado 1.325.800 kWh anuales de demanda térmica para el ACS con la BCAT. Por otro lado, hay que tener en cuenta el consumo eléctrico del condensador, según el COP (2,83), se calcula como muestra la ecuación número 4:

$$\text{Consumo eléctrico cond.} = E. \text{ térm. cond.} / 2,83 \quad (4)$$

Obteniendo: 468.239 kWh anuales.

Hay que calcular, también, la generación del agua refrigerada del evaporador. La cual se considera gratuita y por lo tanto, un ahorro. Para calcularla, hay que conocer el ratio energético entre el condensador y el evaporador (ecuación 5):

$$\text{Ratio energético ev-cond} = 168 \text{ kW} / 252 \text{ kW} = 0,667 \quad (5)$$

Con este ratio, se puede conocer qué cantidad de agua refrigerada se puede obtener generando 1.325.800 kWh caloríficos, como se muestra en la siguiente ecuación (número 6):

$$E. \text{ térm. ev.} = 1.325.800 \text{ kWh/año} * 0,667 \quad (5)$$

Teniendo como resultado: 883.866 kWh.

A continuación, se necesita conocer el consumo eléctrico evitado de las enfriadoras existentes según el rendimiento de las mismas. Las enfriadoras son del modelo 30XW0452B, las cuales tienen un EER de refrigeración del valor de 2,3. Lo que lleva al siguiente cálculo (ecuación 6):

$$\text{Consumo eléc. ev.} = E. \text{ térm. ev.} / 2,3 \quad (6)$$

Se obtiene de resultado: 384.290 kWh de consumo eléctrico evitado para la generación de agua refrigerada.

Considerando un precio medio del gas natural de 0,062 €/kWh (según datos de facturas de 2021) y de energía eléctrica de 0,11 €/kWh (según datos de facturas de 2021) y conociendo tanto el consumo de gas para ACS como la energía necesaria para generarla, más la energía evitada de la refrigeración, se puede calcular el ahorro generado (ecuación 7):

$$\text{Ahorro generado} = \text{Coste GN} + \text{Coste eléc. ev.} - \text{Coste eléc. cond.} \quad (7)$$

Se calcula que el ahorro generado anualmente sea de 55.940 €. Este ahorro variará en función del tiempo de trabajo de la máquina, dependiendo de la demanda del hotel.

Con una inversión inicial de 134.910 €, un coste fijo de 3.600 € anuales y un ahorro de 55.940 €, el flujo de caja pasa a ser positivo en el segundo año del contrato. Donde Stratenergy comienza a remunerar 52.340 € anuales.

Se calcula una TIR del 66% del proyecto a 10 años.

2. AHORROS GENERADOS EN 2023

Gracias a la plataforma MIDE, se pueden conocer los datos de generación y consumo y calcular la energía térmica equivalente del gas natural, los mostrados en la tabla 10.

Se ha sacado el precio medio mensual de las facturas de GN y las eléctricas del hotel. Con el precio medio mensual, los datos mostrados en la tabla 10 y las ecuaciones 6 y 7, se ha calculado el ahorro total generado en 2023, sumando un total de 40.736,35 €, como muestra la tabla a continuación (tabla 11):

Tabla 11: Ahorros 2023

Mes	Ahorro gas natural (€)	Coste ahorrado de refrigeración (€)	Coste eléctrico (€)	Ahorro total (€)
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	7.070,63	4.720,71	5.479,35	6.311,99
Marzo	652,52	296,02	291,15	657,39
Abril	7.817,59	3.090,31	3.724,26	7.183,63
Mayo	7.733,64	3.049,93	3.813,57	6.970,00
Junio	3.473,03	1.433,00	2.234,41	2.671,62
Julio	2.186,38	1.159,31	2.834,43	511,25
Agosto	5.945,98	2.874,13	4.258,73	4.561,38
Septiembre	8.664,01	4.237,75	6.268,90	6.632,85
Octubre	6.486,14	2.840,41	4.090,31	5.236,24
Noviembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Año 2023	50.029,93	23.701,56	32.995,13	40.736,35

Como la máquina estuvo parada durante 3 meses, no se ha conseguido el ahorro teórico. También, hay que tener en cuenta que el precio medio del GN en 2023 (0,0592 €/kWh) ha sido menor en un 5% respecto al tomado de referencia (0,062 €/kWh).

CAPÍTULO 4: Conclusiones

1. CONCLUSIONES

El proyecto, en general, ha requerido mucho trabajo, para poder conocer y ajustar todo lo necesario para que la instalación funcionase correctamente, estando el hotel en funcionamiento y teniendo más de 50 años. Como se expone en los capítulos 2 y 3, sin duda es un caso de éxito.

Se ha conseguido que el hotel reduzca sus emisiones un 17% respecto a 2019 y un ahorro económico del 13%.

Este estudio es replicable en cualquier sector (industrial, terciario, residencial...) en los que de forma simultanea se demande agua caliente y agua refrigerada.

Actualmente, se han llevado a cabo las otras tres fases restantes del proyecto comentadas en el alcance. Todas ellas se han finalizado y se ha conseguido la descarbonización completa del edificio para calefacción y ACS.

A continuación se muestran las fotos de la instalación actual finalizada, de las fases III y IV, con todas las bombas de calor instaladas (imágenes 38, 39, 40 y 41):



Imagen 38: BCAT nº 8 y 9 instaladas



Imagen 39: BCAT n°2 instalada



Imagen 40: BCAT n° 3 instalada



Imagen 41: Bombas de calor 30RQP520 instaladas

En el Anexo VII se adjunta el esquema de principio de la situación final de la sala de máquinas, donde se puede observar la instalación de todas las fases del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BBVA. (enero de 2024). Qué es la descarbonización y qué implica: un objetivo a cumplir. *BBVA*.
- Carrier. (Julio de 2020). *Reglamento sobre diseño ecológico para bombas de calor y enfriadoras*. Obtenido de https://eto.carrier.com/litterature/Ecodesign_Bro/NE1764B_Ecodesign_heat_pumps_c_hillers_carrier.pdf
- Carrier. (2024). *Refrigerantes PUREtec*. Obtenido de Sistemas de aire acondicionado y calefacción - España: <https://www.carrier.com/commercial/es/es/innovacion/refrigerantes-puretec/>
- Carrier. Datos de selección de productos. *Fuente de Agua de Alta Temperatura Bomba de Calor*. Montluel, Francia.
- Cvent. (5 de junio de 2019). El Meliá Castilla es elegido segundo mejor hotel MICE de Europa. *Tourinews*, págs. 1-2.
- ESEficiencia. (22 de 06 de 2018). Gases HFO y sistemas HVAC hidrónicos, la apuesta de Carrier para reducir las emisiones de CO2. *ESEficiencia.es*.
- España, G. d. (2003). *Real Decreto 865/2003. Capítulo 3: Sistema de Agua Caliente Sanitaria*.
- Europeo, C. (10 de noviembre de 2023). *Consejo de la Unión Europea*. Obtenido de Pacto Verde Europeo: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>
- Gobierno de España. (2015). *Plan de Acción para la implementación de la Agenda 2030: Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*. Madrid.
- Hale, M. (2020). Comprender y prevenir el ensuciamiento del intercambiador de calor. *IndustriaAmbiente*, 32-33.
- La eficiencia energética de los edificios. (2020). *Diario oficial de la Unión Europea*.
- OECC. (2023). *Factores de emisión*. Madrid.
- Rodríguez, M. (2023). Rendimiento energético en climatización: EER, SEER, COP y SCOP. *Revistadigital INESEM*.
- SCS, C. (junio de 2018). Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento. *Bomba de calor de fuente de agua de alta temperatura AquaForce PUREtec con R1234ze(E)*. Montluel, Francia.

ANEXO I

FICHA TÉCNICA DE LA BCAT MODELO 61XWH-ZE03

Informe de rendimiento (a carga total)

Nombre del proyecto:

Preparado por: JOAQUIN FERNANDEZ

3/02/2022



Bomba de calor agua-agua 61XWH-ZE03

IOM

PSD

Brochure

Información sobre rendimiento

Potencia calorífica	252 kW
Eficacia de calefacción (C.O.P.)	2,82 kW/kW
Eficacia de calefacción (Coeficiente COP bruto) no certificado *	2,83 kW/kW
Capacidad frigorífica al origen	168 kW
Potencia absorbida por la unidad	89 kW

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación	Montluel, France
Tipo de refrigerante	R1234ze(E)
Potencia mínima	50 %
Número de circuito refrigerante	1
Peso de funcionamiento/envío	2251/2132 kg
Dimensiones del equipo (la x an x al)	2724/981/1594 mm

Información del evaporador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	7,0 °C
Temperatura de entrada	12,0 °C
Caudal de fluido	8,0 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información eléctrica

Tensión de la unidad	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Potencia en modo de espera	0,100 kW
Factor de potencia	0,89

Amps (Un 400V)	CKT A
In (A): Intensidad máxima	222
Id (A): Corriente de arranque (max. Y/D)	388
* Second Peak ~ 150 ms	1210

* Installation shall be configured for the second transition
 During starting, voltage shall not drop below 340 V (400V-

Información del condensador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	70,0 °C
Temperatura de entrada	60,0 °C
Caudal de fluido	6,1 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información acústica

Nivel de potencia sonora (LwA)	93 dB(A)
Nivel de presión sonora a 10 m (LpA)	76 dB(A)

Opciones instaladas y accesorios

OPT25A Wye / delta de arranque

*: sin caída de presión del intercambiador

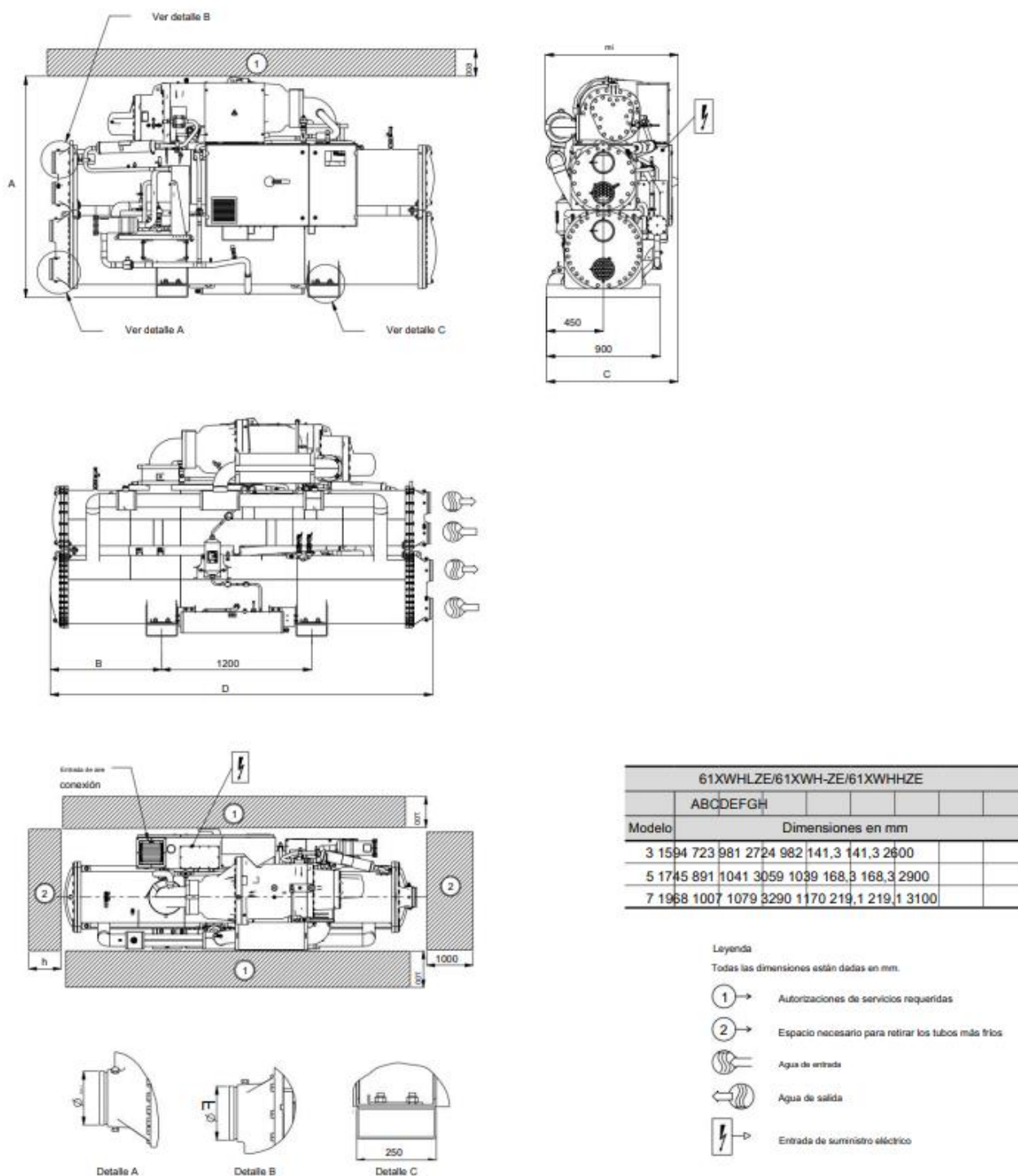
Todos los rendimientos son conformes con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia sonora de conformidad con ISO 9614-1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps.
 Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com.
 Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

ANEXO II

PLANOS DE LA BCAT



Fuente: página 11 del Manual de Instalación, Operaciones y Mantenimiento (SCS, 2018).

ANEXO III

Esquema PID de la BCAT

*Documento adjunto. Nombre: *PID*

ANEXO V

Modelo de cálculo de rendimiento y reducción emisiones

- Descarga plataforma MIDE
- Cálculo del rendimiento
- Gráficas consumo y generación mensualmente
- Cálculo reducción emisiones de CO₂

*Excel adjunto. Nombre: *Rendimiento y reducción emisiones*.

ANEXO VI

Modelo de cálculo del plan de negocio y ahorros de 2023

*Excel adjunto. Nombre: *Plan de negocio y ahorros 2023*

ANEXO VII

Esquema de principio de la situación final

*Archivo pdf adjunto. Nombre: *Esquema de principio sala máquinas*