

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Dimensionado óptimo de instalaciones de producción de calor y frío en hotel urbano

Autora: María Adame Martín

Tutor: José Luis Molina Félix

Laura Romero Rodríguez

Dep. de Ingeniería Energética
Grupo Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Dimensionado óptimo de instalaciones de producción de calor y frío en hotel urbano

Autora:

María Adame Martín

Tutores:

José Luis Molina Félix

Laura Romero Rodríguez

Dep. de Ingeniería Energética
Grupo Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Dimensionado óptimo de instalaciones de producción de calor y frío en hotel urbano

Autora: María Adame Martín

Tutores: José Luis Molina Félix

Laura Romero Rodríguez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Esta llegada a meta en la maratón que han supuesto estos años de estudio se la debo sin duda alguna al apoyo de mi familia. Papá, gracias por esa confianza absoluta hacia mí en todo momento; Mamá gracias por haber sido siempre la primera persona en preguntar y escuchar; Luisito, gracias por demostrar lo orgulloso que te sientes siempre de mí ante todo el mundo. Sois mi pilar, os quiero.

A Quique, por haber sido el mejor acompañante en este camino para apoyarme en cada tropiezo y animarme a superarme y conseguir aquello que me he propuesto.

A mis amigas y compañeras, que sin duda alguna sois la mejor parte que me llevo de estos años. Gracias especialmente a Esther y Patricia por haber compartido tanto.

A Miriam, porque, sin duda alguna, este proyecto ha sido mucho más gratificante hacerlo a tu lado.

Y, por último, a mis tutores de este proyecto. Servando, por ofrecer su fuente inagotable de conocimiento y Laura, porque sin tu ayuda constante y tu esfuerzo no habría podido realizarlo.

¡Gracias de verdad a todas aquellas personas que en algún momento han estado a mi lado!

María Adame Martín

Sevilla, 2018

Resumen

La eficiencia energética y la búsqueda del ahorro económico es un aspecto de vital importancia en la actualidad. El presente proyecto pretende diseñar la instalación de climatización de un hotel en el núcleo urbano de la ciudad de Barcelona, con la finalidad de ofrecer las condiciones de confort deseadas y demandadas por los usuarios a la vez que se optimiza la instalación. El hotel en estudio es un hotel real que se encuentra en funcionamiento y cuya instalación de climatización y de abastecimiento de agua caliente sanitaria se pretende renovar. Con la voluntad de conseguir un sistema de climatización óptimo para el edificio, buscando un compromiso entre las necesidades de los usuarios y los costes, se realiza un estudio detallado de las condiciones que influyen en el diseño.

Una parte realmente importante del proyecto será la implementación de la instalación que se desea llevar a cabo a través del software TRNSYS, el cual va a permitir un estudio detallado del funcionamiento de la instalación durante un año de simulación, conociendo cómo se va a comportar la instalación con un intervalo diezminutal.

La instalación que se va a instalar consta de una caldera convencional, una caldera de condensación y una enfriadora con recuperación de energía como elementos principales. Además de tres depósitos de acumulación, uno por cada bus de temperatura (alta, media y baja). Ambas calderas funcionan con gas natural y la enfriadora, por el contrario, tendrá un consumo eléctrico.

En la memoria se presentan las condiciones iniciales del proyecto, el método de diseño, los cálculos realizados, el dimensionado de equipos, la implementación en TRNSYS, las simulaciones obtenidas y el estudio de estas en profundidad, teniendo en cuenta el coste de ciclo de vida de las diferentes soluciones, así como los consumos de energía primaria.

Abstract

The energy efficiency and the search of the economic save are nowadays an aspect that has vital importance. The present draft seeks to design a hotel air-conditioning installation. This hotel is based in Barcelona, within the urban centre of the city. What we are aiming is to offer desirables comfort conditions and every single demand that guest might request and try to optimize the installation at the same time. The hotel under study is an hotel which is currently in operation, whose conditioning installation and DHW (domestic hot water) provision are meant to be renovated. With the desire to achieve an optimum conditioning system for our building, seeking a balance between technique and cost, a detailed survey of the conditions that might affect in the design will be conducted.

On this project, one of the most important parts will be the implementation of the installation, which is meant to be carried out through the software TRNSYS, that allow us to execute a detailed study of the installation behaviour for a complete year of simulation. It is the possibility of having the simulation time step of 10 minutes one of the main advantages TRNSYS have.

It is resolved that the installation to be deployed consist of a conventional boiler, a condensing boiler and a heat recovery chiller as main elements. Apart from three storage tanks, one per temperature bus (high, medium and low). On one hand, both boilers run on natural gas and the chiller on the other hand, will be an electrical unit.

On the descriptive memory, are presented the initial conditions of the project, the method of design, the calculation performed, the dimensioning equipment, the implementation process on TRNSYS, the simulations obtained and a deep study of these, always bearing in mind the cost of the different solutions, as much as the primary energy consumption.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xviii
Índice de Figuras	xx
Notación	xxiv
1 Introducción	1
1.1 <i>Panorámica energética mundial y europea</i>	1
1.2 <i>Situación energética Española</i>	8
1.3 <i>Generación distribuida</i>	9
1.4 <i>Mejoras en el sector energético. Nuevas tecnologías</i>	10
1.5 <i>Normativa</i>	10
2 Justificación del proyecto	12
2.1 <i>Objeto</i>	12
2.2 <i>Antecedentes</i>	12
2.3 <i>Motivación</i>	12
3 Edificio y demandas	14
3.1 <i>Edificio objeto</i>	14
3.2 <i>Zona climática</i>	14
3.3 <i>Demanda</i>	18
4 Elementos del proyecto	21
4.1 <i>Introducción</i>	21
4.2 <i>Equipos de calefacción</i>	21
4.2.1 <i>Calderas. Tipología</i>	21
4.2.2 <i>Caldera convencional</i>	22
4.2.3 <i>Caldera de condensación</i>	23
4.3 <i>Equipos de refrigeración</i>	25
4.3.1 <i>Enfriadora</i>	25
4.3.2 <i>Tipologías de enfriadoras</i>	26
4.3.3 <i>Enfriadora con recuperación de calor</i>	27
4.4 <i>Sistemas de almacenamiento</i>	31
4.4.1 <i>Introducción</i>	31
4.4.2 <i>Características de los acumuladores</i>	31

4.4.3	Tipología de acumuladores	32
4.4.4	Problemática	34
4.5	<i>Intercambiadores de calor</i>	35
4.5.1	Tipologías intercambiadores de calor	35
4.6	<i>Circuito hidráulico y bombas de circulación</i>	38
4.6.1	Tuberías de circulación	38
4.6.2	Bombas de circulación	39
4.7	<i>Regulación y control</i>	40
4.7.1	Válvulas	40
4.7.2	Mezcladores de caudal	40
4.7.3	Divisores de caudal	41
5	Trnsys	42
5.1	<i>TRNSYS</i>	42
5.1.1	Simulación modular	42
5.1.2	Interfaz gráfica: TRNSYS Simulation Studio	43
5.1.3	Motor de simulación: TRNSYS Simulation Engine	44
5.1.4	Interfaz gráfica para definir edificios	45
6	Diseño en trnsys	46
6.1	<i>Introducción</i>	46
6.2	<i>Esquema en TRNSYS</i>	47
6.3	<i>Esquema</i>	48
6.4	<i>Diagrama de flujo</i>	49
6.5	<i>Implementación de equipos en TRNSYS</i>	50
6.5.1	Introducción	50
6.5.2	Caldera estándar	51
6.5.3	Bomba y depósito de acumulación para calefacción	53
6.5.4	Caldera de condensación	54
6.5.5	Bomba y depósito de acumulación para ACS	55
6.5.6	Enfriadora con recuperación	56
6.5.7	Bomba y depósito de acumulación para refrigeración	58
6.5.8	Acumuladores en TRNSYS	59
7	Análisis de resultados	60
7.1	<i>Simulaciones</i>	60
7.1.1	Introducción	60
7.2	<i>Resultados</i>	60
7.2.1	Modificación Calefacción	60
7.2.2	Modificación ACS	63
7.2.3	Modificación Refrigeración	65
7.2.4	Análisis del coste del ciclo de vida	67
7.2.5	Simulación óptima regulada por la normativa	67
7.2.6	¿Qué aporta el recuperador de calor de la enfriadora?	70
7.2.7	¿Qué aporta el intercambiador desde el bus de alta al de media temperatura?	71
7.2.8	Análisis de sensibilidad	72
7.2.9	Cierre de balances	74
8	Estudio económico	77
8.1	<i>Costes iniciales</i>	77
8.1.1	Coste inicial caldera estándar	77
8.1.2	Coste inicial caldera de condensación	77

8.1.3	Coste inicial enfriadora	78
8.1.4	Coste inicial depósitos	79
8.2	<i>Costes de operación</i>	80
8.2.1	Coste de operación del gas natural	80
8.2.2	Coste de operación de la energía eléctrica	80
8.3	<i>Coste del ciclo de vida</i>	81
9	Conclusiones	83
9.1	<i>Evaluación final</i>	83
9.2	<i>Trabajos futuros</i>	84
9.3	<i>Valoración personal</i>	84
	Referencias	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas climáticas. <i>Fuente: CTE</i>	15
Tabla 2. Severidad climática de invierno. <i>Fuente: CTE</i>	15
Tabla 3. Severidad climática de verano. <i>Fuente: CTE</i>	16
Tabla 4. Mínimos de rendimiento. <i>Fuente: Elaboración propia, datos</i>	22
Tabla 5. Alternativas calefacción. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	61
Tabla 6. Alternativas ACS. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	64
Tabla 7. Alternativas refrigeración. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Consumo de carbón mundial. <i>Fuente: AIE</i>	2
Figura 1-2. Principales países consumidores de carbón. <i>Fuente: BP</i>	3
Figura 1-3. Consumo de petróleo mundial. <i>Fuente: U.S. Energy International Administration</i>	4
Figura 1-4. Principales países consumidores de petróleo <i>Fuente: U.S. Energy Information Administration</i>	4
Figura 1-5. Principales países consumidores de petróleo <i>Fuente: U.S. Energy Information Administration</i>	5
Figura 1-6. Principales países productores de energía nuclear <i>Fuente: World Nuclear Association</i>	6
Figura 1-7. Consumo de energía primaria Unión Europea 2015. <i>Fuente bp statistical</i>	7
Figura 1-8. Consumo de energía primaria mundial 2015. <i>Fuente bp statistical</i>	7
Figura 1-9. Consumo de energía primaria en España 2015. <i>Fuente bp statistical</i>	8
Figura 3-1. Ubicación geográfica hotel Catalonia Mikado. <i>Fuente: Google Maps</i>	14
Figura 3-2. Valores medios de temperaturas en Barcelona. <i>Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue</i>	16
Figura 3-3. Precipitación media en Barcelona. <i>Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue</i>	17
Figura 3-4. Humedad relativa media en Barcelona. <i>Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue</i>	17
Figura 3-5. Demanda de calefacción en zona C2. <i>Fuente: Elaboración propia, datos HULC</i>	18
Figura 3-6. Demanda de refrigeración en zona C2. <i>Fuente: Elaboración propia, datos HULC</i>	18
Figura 3-7. Demanda de ACS. <i>Fuente: Elaboración propia, datos HULC</i>	19
Figura 4-1. Balance de energía en la caldera. <i>Fuente: DTIE 10.05</i>	24
Figura 4-2. Ciclo frigorífico de compresión mecánica simple. <i>Fuente: Universidad Técnica de Manabí</i>	25
Figura 4-3. Clasificación de enfriadoras en función del medio de transferencia. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	27
Figura 4-4. Calor y trabajo en un sistema de refrigeración. <i>Fuente: Carrier</i>	28
Figura 4-5. Recuperación de calor usando intercambiador de calor. <i>Fuente: HVAC Technologies for Energy Efficiency</i>	29
Figura 4-6. Recuperación de calor usando un condensador adicional <i>Fuente: HVAC Technologies for Energy Efficiency</i>	30
Figura 4-7. Control de la temperatura del agua de calentamiento. <i>Fuente: HVAC Technologies for Energy Efficiency</i>	31
Figura 4-8. Acumulador de doble evolvente y acumulador de serpentín. <i>Fuente: Calor y frío</i>	32
Figura 4-9. Tanque de almacenamiento con diferentes niveles de estratificación. <i>Fuente: Ecovat</i>	33

Figura 4-10. Depósito de inercia. <i>Fuente: Domusa BT</i>	34
Figura 4-11. Intercambiador tubular	36
Figura 4-12. Intercambiador de placas	37
Figura 4-13. Intercambiador de carcasa y tubos	37
Figura 4-14. Intercambiador de tubo espiral	38
Figura 4-15. Funcionamiento de mezcladores estáticos. <i>Fuente: Handbook of Industrial Mixing</i>	41
Figura 4-16. Divisor de flujo hidráulico proporcional tipo carrete. <i>Fuente: Vivoil</i>	41
Figura 5-1. Estructura programación modular	43
Figura 5-2. Ejemplo TRNSYS SimulationStudio. <i>Fuente: TRNSYS</i>	44
Figura 5-3. Esquema de funcionamiento de TRNSYS. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	45
Figura 5-4. Ejemplo de representación gráfica en TRNSYS. <i>Fuente: TRNSYS</i>	45
Figura 6-1. Esquema de la instalación en TRNSYS. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	47
Figura 6-2. Esquema de la instalación. <i>Fuente: Dpto Termotecnia, US</i>	48
Figura 6-3. Dagrama de flujo de la instalación. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	49
Figura 6-4. Parámetros básicos para simular en TRNSYS	50
Figura 6-5. Formato archivo demanda de calefacción	51
Figura 6-6. Modelo de caldera convencional	52
Figura 6-7. Parametrización del controlador con histéresis de caldera de condensación, Type 2b	53
Figura 6-8. Modelo de caldera de condensación	54
Figura 6-9. Parametrización del controlador con histéresis de caldera de condensación, Type 2b	55
Figura 6-10. Formato archivo demanda de refrigeración	57
Figura 6-11. Modelo de enfriadora con recuperación	57
Figura 6-12. Modelo de recuperador de la enfriadora	58
Figura 6-13. Acumulador en TRNSYS. <i>Fuente: TRNSYS</i>	59
Figura 7-1. Horas no cubiertas de calefacción en función del volumen del tanque de calefacción. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	62
Figura 7-2. Temperatura de tanque de calefacción frente a las horas no cubiertas. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	62
Figura 7-3. Consumo de calefacción frente al volumen del tanque de calefacción. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	63
Figura 7-4. Horas no cubiertas de ACS según el volumen del tanque de ACS y la potencia nominal de la caldera de condensación. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	64
Figura 7-5. Consumo caldera condensación frente a potencia nominal para cada volumen. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	65
Figura 7-6. Horas no cubiertas de refrigeración según el volumen del tanque de refrigeración y la potencia nominal de la enfriadora. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	66

Figura 7-7. Consumo de refrigeración frente a potencia nominal de enfriadora para cada volumen. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	67
Figura 7-8. Consumo de energía primaria. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	68
Figura 7-9. Consumo energía primaria demanda cubierta. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	69
Figura 7-10. Consumo de energía primaria excluyendo iluminación. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	70
Figura 7-11. Comparación temperatura tanque de ACS en verano e invierno. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	70
Figura 7-12. Aporte del intercambiador (6000W). <i>Fuente: Elaboración propia</i>	71
Figura 7-13. Aporte del intercambiador (12000W). <i>Fuente: Elaboración propia</i>	72
Figura 7-14. Consumo de la caldera convencional según la potencia de la de condensación. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	72
Figura 7-15. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes potencias. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	73
Figura 7-16. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes volúmenes de ACS. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	73
Figura 7-17. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes volúmenes de ACS. <i>Fuente: Elaboración propia</i>	74
Figura 7-18. Balance de energía mensual refrigeración	75
Figura 7-19. Balance de energía mensual ACS y calefacción	75
Figura 7-20. Balance diario refrigeración	76
Figura 7-21. Balance diario ACS y calefacción	76
Figura 8-1. Ley de costes caldera convencional. <i>Fuente: Dpto Termotecnia, US</i>	78
Figura 8-2. Ley de costes enfriadora convencional. <i>Fuente: Dpto Termotecnia, US</i>	79
Figura 8-3. Ley de costes de tanques de almacenamiento. <i>Fuente: Dpto Termotecnia, US</i>	79
Figura 8-4. Etapas del ciclo de vida del producto. <i>Fuente: PDCA</i>	82

AIE	Agencia Internacional de la Energía
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
BP	British Petroleum (Compañía petrolífera)
CTE	Código Técnico de Edificación
RITE	Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios
ACS	Agua Caliente Sanitaria
REE	Red Eléctrica Española
PURPA	Ley de Políticas Reguladoras de Servicios Públicos
MINETUR	Ministerio de Industria, Energía y Turismo
GNL	Gas Natural Licuado
GLP	Gas Licuado del Petróleo
SAC	Sistema de Almacenamiento de Calor
TESS	Thermal Energy System Specialists
DPCA	Distribution Power Coalition of America
GD	Generación Distribuida
CFE	Comisión Federal de Electricidad
COP	Coefficient of Performance (Coeficiente de operatividad)
EER	Energy Efficiency Ratio (Coeficiente de eficiencia energética)
LCC (CCV)	Life Cycle Costing (Coste del ciclo de vida)
VBA	Visual Basic for Applications

1 INTRODUCCIÓN

“La energía no debe ser politizada y se debe evitar la confrontación armada”

- Anónimo -

1.1 Panorámica energética mundial y europea

Actualmente la energía juega un papel vital en la sociedad moderna. Y no solo es imprescindible en las economías industrializadas sino además en la generación de avances económicos y sociales en los países en vías de desarrollo, ya que posibilita el funcionamiento de los sistemas que cubren las necesidades humanas. Las principales fuentes de energía se basan en combustibles fósiles, energía nuclear, y la emergencia de energías renovables.

La fuerte dependencia de las naciones en los combustibles fósiles, principalmente el petróleo, lleva a una gran preocupación por la seguridad energética. Se prevé que las reservas probadas de petróleo se agoten en aproximadamente 50 años, mientras las de gas natural durarían unos 75 años y el carbón, la que más duraría, unos 90 años. Sin embargo, el declive en la extracción de todas esas fuentes de energía se producirá previamente a estos años.

A continuación, se recoge un resumen de las diferentes fuentes de energía y la implicación que tienen en el mix energético mundial.

- Carbón.

El carbón suministra una tercera parte de toda la energía mundial y constituye un 40% de la generación de electricidad, además de jugar un papel crucial en industrias como la del hierro o el acero.

Las plantas eléctricas de carbón son las instalaciones industriales más contaminantes de Europa, según un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). Estas instalaciones son responsables de un alto porcentaje de emisiones de CO₂ a la atmósfera y no podemos olvidar que es el combustible que más afecta al cambio climático. No hay duda: el carbón es, de lejos, la fuente que más gases de efecto invernadero emite a la atmósfera, junto a la combustión de petróleo. La salud del planeta se resiente, y mucho, y también la de sus habitantes. Un total de 709 personas fallecen cada año en España de forma prematura a consecuencia de las centrales térmicas de carbón, según el estudio “Un oscuro panorama. Los efectos en la salud de la quema de carbón en España durante 2014”, presentado este año por el Instituto Internacional de Derecho y Medio Ambiente. Pero hay más. Según el informe, la contaminación de las 15 centrales térmicas de carbón españolas provocó 459 hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, más de 10.500 nuevos episodios de asma en niños y pérdidas económicas de entre 800 y casi 1.700 millones de euros anuales en 2014.

A pesar de la preocupación sobre la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del carbón continuará siendo significativo en el futuro próximo. Además, son necesarios mayores esfuerzos por parte del gobierno y la industria para conseguir una menor contaminación y tecnologías más eficientes para asegurar que el carbón llegue a ser una fuente de energía más limpia en las siguientes décadas.

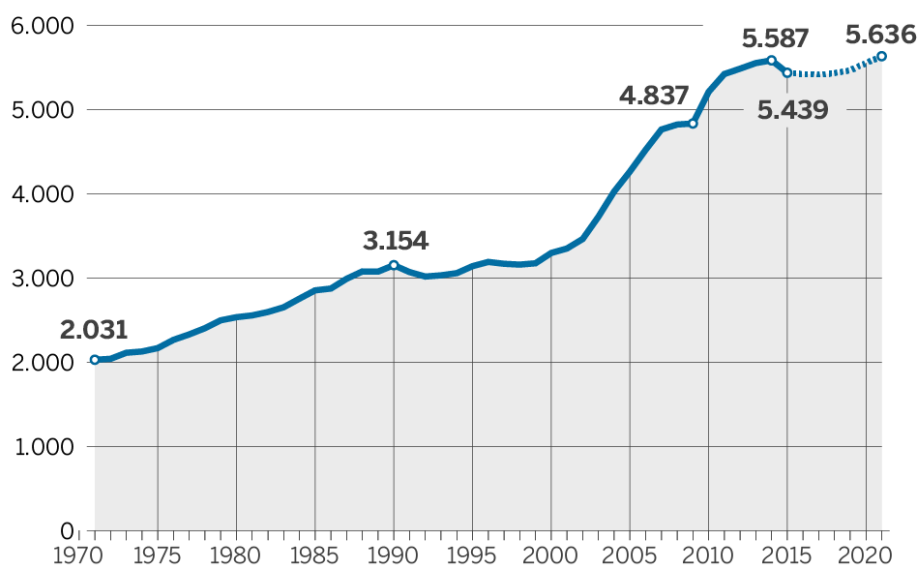
Se considera que, de todas las fuentes de energía, el carbón es la más sucia, debido a que la quema de mismo puede provocar lluvias ácidas, que afectan negativamente a la agricultura y a la ecología. Asimismo, el uso de este mineral para producir electricidad es bastante problemático, pero, según los pronósticos, la demanda de carbón en el mundo se incrementará en un 25% hasta el año 2025.

Por todo esto, existe la necesidad de “descarbonizar el modelo energético” basándose en el Acuerdo de París, para lo que es necesario el cierre progresivo de las centrales térmicas de carbón. Un cierre que debe asegurar el bienestar de los trabajadores y de las zonas afectadas con programas socioeconómicos.

En la Figura 1-1. Consumo de carbón se puede observar esta dependencia a lo largo de los años con respecto al carbón y el estancamiento que se espera en los próximos años.

CONSUMO DE CARBÓN EN EL MUNDO

Millones de toneladas equivalentes de carbón



Fuente: Agencia Internacional de la Energía. EL PAÍS

Figura 1-1. Consumo de carbón mundial. Fuente: AIE

Por otro lado, en la Figura 1-2 se observa la gran diferencia entre los países mayores consumidores de carbón, siendo China el mayor consumidor, ya que sus reservas de carbón son, aproximadamente, el 14% del total mundial.

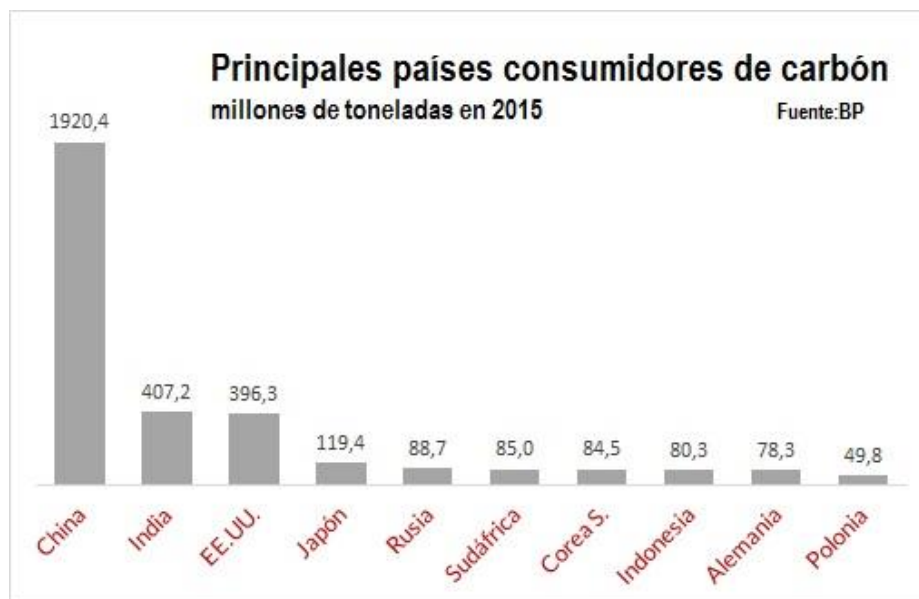


Figura 1-2. Principales países consumidores de carbón. Fuente: BP

- **Petróleo.**

El petróleo es un compuesto químico complejo en el que coexisten partes sólidas, líquidas y gaseosas. Lo forman, por una parte, unos compuestos denominados hidrocarburos y, por otra, pequeñas proporciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales. Se presenta de forma natural en depósitos de roca sedimentaria y sólo en lugares en los que hubo mar.

Dentro de los productos especiales que se generan a partir del petróleo se tienen:

- Combustibles gaseosos
- Gasolinas líquidas
- Lubricantes
- Ceras (parafinas)
- Azufre (o ácido sulfúrico)
- Asfalto
- Coque de petróleo
- Petroquímicos
- Productos de plástico.

La organización de países exportadores de petróleo (OPEP) tiene una gran influencia en su mercado, especialmente si decide reducir o aumentar su nivel de producción. El 43% de la producción y el 81% de las reservas mundiales de petróleo se encuentran en países miembros de la OPEP.

Los mercados del petróleo se están adaptando a los cambios puestos en marcha por el largo período de altos precios que fomentó la aparición del petróleo obtenido por fracking en EEUU. La evolución de la demanda del petróleo desde aquí y las perspectivas de un pico en la misma vendrán determinadas por diversos factores, incluidos los precios del petróleo, la transición económica actual en los principales centros de demanda, principalmente China, el ritmo de la reforma de los subsidios a los combustibles fósiles, la velocidad con la que emergen los modelos comerciales en el sector del transporte y las perspectivas de

crecimiento tanto de petroquímicos como del transporte de mercancía por carretera.

En la Figura 1-3 se observa la demanda mundial de petróleo y su continuo ascenso dada la alta dependencia de este.

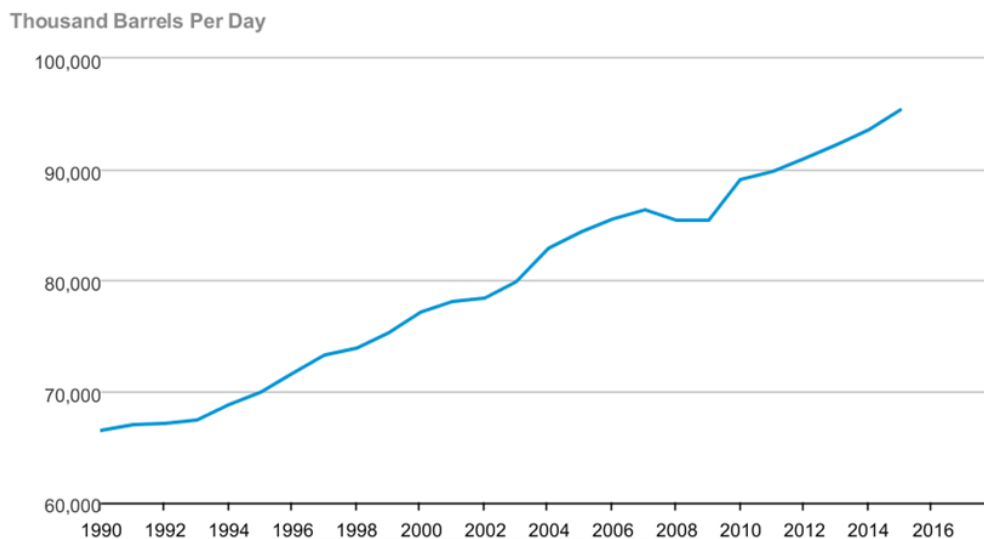


Figura 1-3. Consumo de petróleo mundial. Fuente: U.S. Energy International Administration

Por otro lado, en la Figura 1-4 se puede observar que Estados Unidos es el mayor consumidor de petróleo, seguido por China y con gran diferencia del resto de los principales países consumidores.

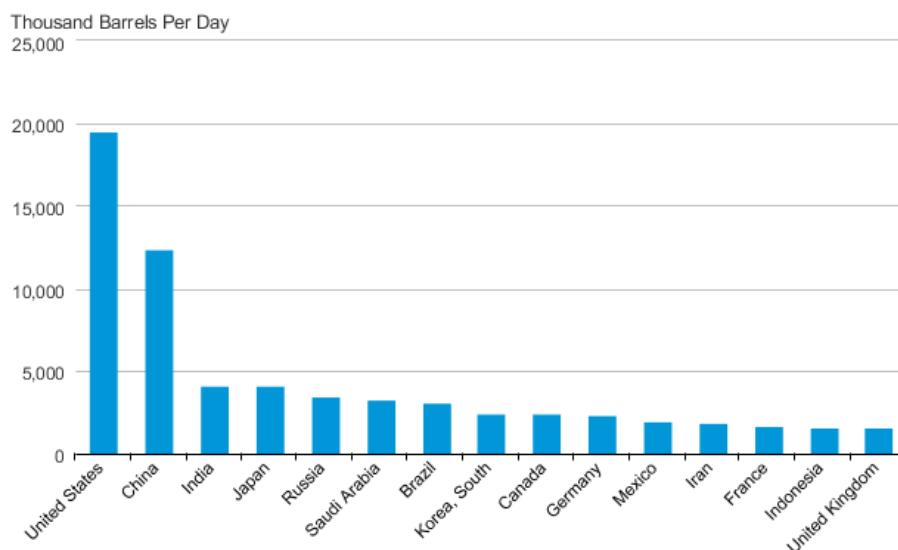


Figura 1-4. Principales países consumidores de petróleo Fuente: U.S. Energy Information Administration

- Gas natural:

Es un combustible fósil que representa actualmente una fuente energética de uso generalizado, tanto en su estado gaseoso como en forma de gas licuado. Es un combustible muy versátil y con menos emisiones de CO₂ en su combustión que el resto de los

combustibles fósiles.

El gas natural suministra en la actualidad un 22% de la energía utilizada a nivel mundial, y constituye en torno a un 25% de la generación de electricidad, además de desempeñar un papel crucial como materia prima para la industria. El gas natural es un combustible bastante versátil y su crecimiento está vinculado, en parte, a sus beneficios ambientales en relación con otros combustibles fósiles, particularmente respecto a la calidad del aire y a las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la Figura 1-5 se puede observar cuáles son los principales países productores y consumidores de gas natural en el panorama mundial.

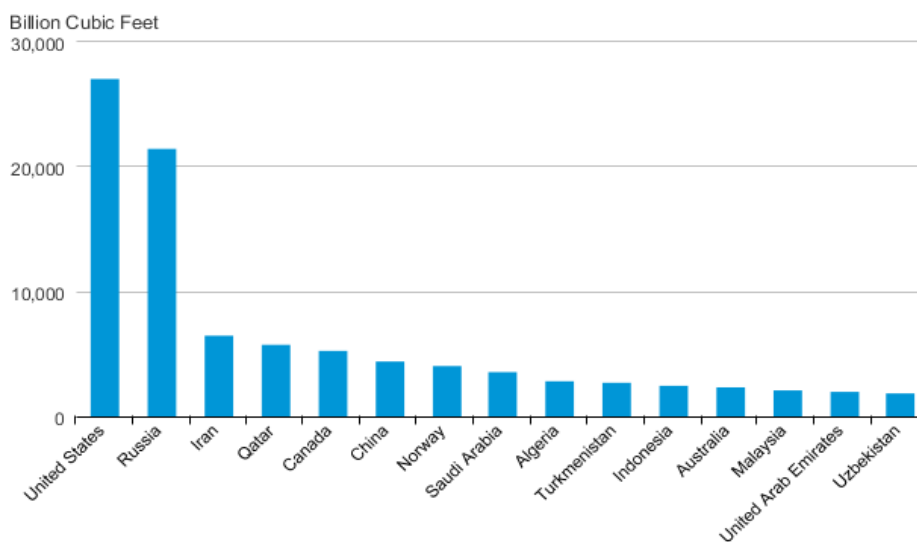


Figura 1-5. Principales países consumidores de petróleo Fuente: U.S. Energy Information Administration

Y es que, en este panorama, el gas natural ha cobrado una gran importancia. Los principales usos que se le da al gas natural en la actualidad son en calderas para calefacción de edificios y procesos industriales, centrales eléctricas de alto rendimiento, centrales de cogeneración, como gas natural vehicular y como pila de combustible.

- Energía nuclear.

La energía nuclear basada en la fisión ha sido históricamente uno de los principales contribuyentes de la electricidad, a nivel mundial, libre de carbono. Su potencial para contribuir a la descarbonización energética es significativo.

Al mismo tiempo, en muchas jurisdicciones, la energía nuclear tiene problemas para competir con otras alternativas más económicas como gas natural o las energías renovables. Las preocupaciones sobre la seguridad y aceptación pública en general también siguen siendo un obstáculo para el desarrollo debido a la cantidad de residuos radiactivos que se generan.

Además, hay que sumar el encarecimiento de la generación de electricidad por este tipo de fuente en los últimos años debido a mayores inversiones en mantenimiento y medidas de seguridad. Como consecuencia de esto, la hacen una energía menos competitiva con el resto. También, los accidentes nucleares han provocado rechazo por parte de muchos ciudadanos que alientan a algunos gobiernos a desmantelar estas centrales e invertir en otro tipo de

fuentes de energía.

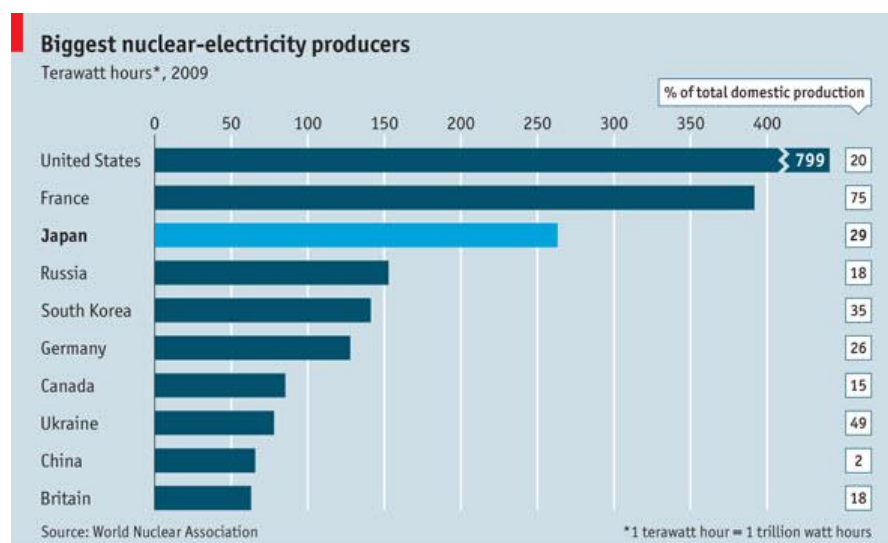


Figura 1-6. Principales países productores de energía nuclear *Fuente: World Nuclear Association*

Sin embargo, se espera un crecimiento considerable de esta fuente de energía bastante concentrado en dos países: China e India, ambos considerados países emergentes actualmente. Si bien es significativo, la participación de la energía nuclear en la generación de electricidad disminuirá al 10% para 2040.

- Energías renovables.

Existe una creciente conciencia en todo el mundo de que las energías renovables (FRE) y la eficiencia energética son fundamentales, no sólo para hacer frente al cambio climático, sino también para el desarrollo económico y el acceso a la energía de los miles de millones de personas que aún viven sin servicios modernos de energía.

Durante la última década, y particularmente en los últimos años, los avances en las tecnologías de energías renovables, los aumentos globales de la capacidad, y la rápida reducción de costos se han debido, en gran parte, al apoyo de las políticas públicas que atrajeron una inversión significativa.

Las FRE continuaron creciendo en 2014 en un contexto de aumento del consumo mundial de energía, y a pesar de la drástica disminución en los precios del petróleo durante la segunda mitad del año. En 2014, las FRE se expandieron significativamente en términos de capacidad instalada y energía producida, sus inversiones en el sector eléctrico superaron las inversiones netas en las centrales eléctricas térmicas convencionales que queman combustibles fósiles. El crecimiento más rápido y el mayor aumento de la capacidad renovable se produjeron en el sector eléctrico y estuvo dominada por tres tecnologías: la eólica, la solar fotovoltaica (PV) y la energía hidroeléctrica.

Es importante destacar que las energías renovables tendrán un papel clave en el desarrollo del sector energético. Las energías renovables están en el centro de la transición hacia un sistema energético menos intensivo en carbono y más sostenible, ya que han crecido rápidamente en los últimos años, acompañadas de una gran reducción de costes para la energía solar fotovoltaica y la energía eólica en particular, las cuales tienen grandes perspectivas. La Agencia Internacional de la Energía espera que la generación de electricidad a partir de renovables aumente en más de un tercio para 2022.

Debido a que la industria, los servicios y en general toda la actividad económica giran en torno a un consumo energético que crece sin parar, aparece la cuestión de la situación y propiedad de los recursos energéticos. La cuestión yace en si se posee cuantía suficiente para atender a una creciente demanda del sector. Esta dependencia hace que la Unión Europea necesite de la colaboración energética con terceros países.

Se representa el mix energético europeo y mundial del año 2015.

Consumo de energía primaria-Unión Europea 2015

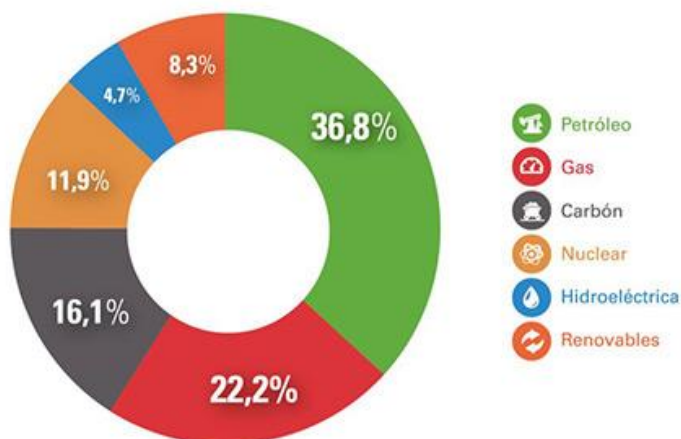


Figura 1-7. Consumo de energía primaria Unión Europea 2015. Fuente *bp statistical*

Consumo de energía primaria mundial 2015

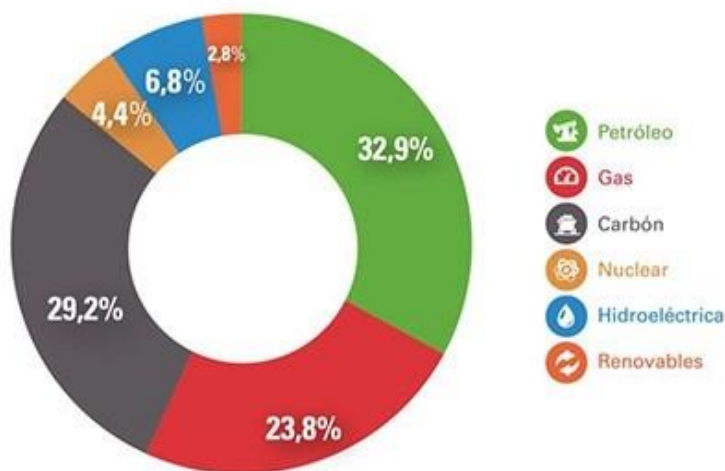


Figura 1-8. Consumo de energía primaria mundial 2015. Fuente *bp statistical*

1.2 Situación energética Española

El consumo energético en España durante 2015 experimentó un cambio de tendencia y ha vuelto a la senda del crecimiento con un alza del 1,7%, frente a las caídas registradas desde 2008 (con la excepción del repunte registrado en 2010), según el informe Statistical Review 2016. En concreto, el consumo energético fue de 134,4 millones de toneladas de petróleo equivalente, pero aún está lejos de recuperar el récord de 2007 donde se consumieron 158 millones de toneladas de petróleo equivalente.

En cuanto al consumo energético por fuentes de energía, destaca el crecimiento experimentado por el carbón, con un alza del 23,9% respecto a 2014, como consecuencia de la caída del precio internacional de este combustible, el menor precio del CO₂ y la situación climatológica, que estuvo marcada por la falta de lluvias -que hizo caer la aportación de la energía hidráulica-, así como la sucesión de anticiclones -que incidieron en una menor aportación de la eólica.

Así, el carbón reemplazó gran parte de la menor aportación de la energía hidráulica, que registró un descenso del 28,8% debido a que 2015, tal como se ha dicho anteriormente, fue un año muy seco y algunos embalses estuvieron a la mitad de su capacidad durante el pasado ejercicio.

En consecuencia, las emisiones de CO₂ crecieron un 6,8% en 2015, muy por encima de la media de la UE (1,3%). De hecho, España fue el país de la UE que ha registrado un mayor incremento de sus emisiones.

Esta modificación en el consumo ha producido cambios en la configuración del mix energético de España. En 2015, destaca que el petróleo, el gas natural y el carbón han ganado cuota en su aportación a la demanda, mientras que la energía nuclear, la hidroeléctrica y las renovables han perdido peso. Con todo, el mix energético quedó distribuido de la siguiente manera.



Figura 1-9. Consumo de energía primaria en España 2015. Fuente *bp statistical*

1.3 Generación distribuida

En la actualidad, la mayoría de la potencia eléctrica que se consume es producida en grandes instalaciones centralizadas, en las que diversas fuentes de energía son transformadas en energía eléctrica para su posterior transporte hacia los consumidores finales. La mayor parte de las plantas de generación se encuentran situadas a grandes distancias de los centros de consumo, y es por ello la necesidad de una compleja infraestructura que permita transportar esta energía para hacerla llegar a los usuarios en las condiciones óptimas para el consumo.

Frente a este modelo implantado en la segunda mitad del siglo XX, surge un modelo alternativo en el que la generación de energía se acerca al consumidor, a este modelo se le denomina Generación Distribuida.

La Agencia Internacional de la Energía hace referencia a la Generación Distribuida como “la producción de energía en las instalaciones de los consumidores, o bien en las instalaciones de la empresa distribuidora, suministrando energía directamente a la red de distribución en baja tensión. Asimismo, se asocia a tecnologías como motores, mini- y micro-turbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica”.

La Generación Distribuida ha sufrido un considerable incremento en el número de instalaciones en España, esto nace de políticas de fomento de las energías renovables y eficiencia energética que se han ido impulsando a nivel europeo y nacional. De esta forma se han ido creando potentes mercados alrededor de ciertas tecnologías de Generación Distribuida, a pesar de que el sector eléctrico español esté diseñado y regulado en base al modelo tradicional de energía eléctrica y no al modelo emergente. Se reconocen importantes beneficios a este nuevo modelo, el más importante y evidente es la reducción de pérdidas en la transmisión de la energía, al generarse en el punto de consumo.

Para la implantación de este nuevo modelo es necesario adoptar medidas que fomenten y ayuden a la aceleración del desarrollo de este:

- a) Reestructuración del sector eléctrico, que elimina la planificación centralizada y establece la libre competencia de la generación.
- b) Saturación de la capacidad del actual sistema de potencia ante demandas fuertemente crecientes.
- c) Reducción de pérdidas en la red y del coste asociado a las infraestructuras que la soportan.
- d) Avances tecnológicos en el desarrollo de las fuentes alternativas de generación y reducción de costes.
- e) Conservación de las fuentes de energía básicas: petróleo, carbón y gas natural.
- f) Reducción de las emisiones de gases de combustión derivada de los objetivos establecidos en el Protocolo de Kyoto. Potenciación de la utilización de fuentes de energía renovable.
- g) Requisitos de continuidad en el servicio.
- h) Favorece el desarrollo de regiones aisladas y la inversión privada.

1.4 Mejoras en el sector energético. Nuevas tecnologías

El constante cambio de la situación energética y la necesidad de someter al sector energético a una profunda transformación si se pretende que la economía crezca de forma sostenible hace que sean necesarias medidas en el sistema energético y cooperación internacional. Para ello, es importante

- Dar prioridad a la conservación energética: Es necesario equilibrar la demanda energética y su crecimiento. Es por esto por lo que se necesita realizar una transformación en la producción y en la utilización de la energía y hacer un país energéticamente eficiente con una sociedad concienciada en el ahorro energético.
- Realizar mejoras del servicio universal a la energía: Existen muchas zonas pobladas que todavía no tienen acceso a electricidad. En estas zonas se debe impulsar la instalación de energías renovables y hacer llegar la conexión a las redes eléctricas. El desarrollo energético en el ambiente rural también debe ser considerado de especial importancia para fomentar la modernización de la agricultura. Las energías seleccionadas para este desarrollo deben ser la solar y la hidroeléctrica.
- Acelerar el progreso en la tecnología energética: Existen países grandes desarrolladores de nuevas tecnologías en materia energética. Sin embargo, la mayoría deben invertir más en investigación, ya sea exploración y explotación de los recursos energéticos, procesado y conversión, generación, distribución y transmisión, y/o desarrollo de nuevas energías.
- Promover reformas institucionales del sector energético: El desarrollo energético exige el establecimiento de un marco legal que regule el mercado, proteja al medio ambiente y garantice la seguridad energética. Se deben realizar esfuerzos para que los precios de la electricidad generada y comercializada sigan las reglas de mercado. El gobierno debe regular el establecimiento de un mercado para las renovables.
- Expandir la cooperación internacional: Tan importante es la producción interna de energía de cada país, como la cooperación internacional para asegurar unos recursos energéticos necesarios para el desarrollo de cada uno de ellos. Se necesitaría en ese caso el fortalecimiento del diálogo e intercambios comerciales, la implantación de una cooperación efectiva que ayude a estabilizar los precios, mantener un orden normal en los mercados energéticos y promover el desarrollo sostenible de los países en vías de desarrollo.

1.5 Normativa

Las normativas que regulan la situación energética de los edificios en España son:

-**Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, donde se encuentra el CTE (Código Técnico de Edificación). El CTE es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. La parte que interesa para el presente proyecto es la de ahorro de energía, esta parte consta de un documento básico que se designa como “DB HE: Ahorro de energía” dentro del CTE. Este documento tiene las siguientes secciones:

- HE.0: Limitación del consumo energético.
- HE.1: Limitación de la demanda energética (calefacción y refrigeración).
- HE.2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- HE.3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

- HE.4: Contribución solar mínima de ACS.
- HE.5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

-**Real Decreto 1027/2007**, de 31 de julio, donde está aprobado el RITE (Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios) establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (ACS), para conseguir un uso racional de la energía. Estas condiciones se resumen en los siguientes puntos:

- Mejora del rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío.
- Mejora del aislamiento en los equipos y las conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejora de la regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Inclusión de las energías renovables disponibles.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Desaparición gradual de los combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de los equipos generadores que sean menos eficientes.

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1 Objeto

Se redacta el presente documento como proyecto de instalación de un sistema de energía eficiente para cubrir la demanda energética de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y refrigeración de un edificio cuyo uso está destinado a servicio hotelero.

Se realiza un estudio de la instalación inicial de climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS) del hotel Catalonia Mikado, situado en Barcelona, y el posterior desarrollo de una instalación alternativa que mejore la actual tanto energética como económicamente. El software utilizado para el desarrollo del Proyecto ha sido TRNSYS.

2.2 Antecedentes

Es un hecho que en los últimos años se ha visto aumentada la preocupación hacia un uso más eficiente de la energía, bien sea debido a la consecución de los objetivos marcados por la Unión Europea, o por simple cambio en la conciencia de las personas.

Uno de los principales efectos que ha conseguido esta necesidad de un uso más eficiente de la energía en la edificación es que se tiende a la construcción de edificios energéticamente más eficientes. Lo cual se ha traducido en una notoria mejoría respecto al comportamiento energético de los edificios de nueva construcción, pero sin llegar a conseguir los objetivos deseables sobre la reducción del consumo.

En los países desarrollados, el consumo energético en los edificios supone aproximadamente un tercio del consumo total de la energía total consumida. Y una parte muy importante de este consumo se debe tanto a la climatización como a la producción de agua caliente sanitaria (ACS). A la hora de encontrar una solución óptima, un gran número de parámetros influyen en las propiedades térmicas del diseño arquitectónico del edificio, es por ello por lo que se requiere conocer el contexto y las relaciones entre los parámetros que afectan más al criterio o al elemento en evaluación.

2.3 Motivación

El propósito del proyecto es el estudio de la implementación de una serie de alternativas energéticas en la edificación. Ello está motivado principalmente por la voluntad de analizar la viabilidad de opciones encaminadas al ahorro y eficiencia energética. Esto ha motivado a considerables cambios en varias ramas tecnológicas como son los sistemas de generación de energía eléctrica, transportes, sistemas de aislamiento y almacenamiento energético, entre otros.

En la mayoría de los estudios que se han realizado sobre la eficiencia energética, queda constancia que el potencial de mejora que tiene es bastante alto.

En la mayoría de los casos, no se dejan completamente claras las combinaciones posibles de las propuestas de eficiencia energética para una mejora a gran escala.

Es un hecho que la electricidad es en la actualidad la forma más útil de energía al estar presente en la mayoría de las actividades de todos los sectores de la sociedad.

El objetivo de un sistema de potencia es suministrar electricidad a todos los consumidores conectados a la red, en cualquier instante y con la capacidad necesaria para cubrir las puntas de demanda. Asimismo, la energía eléctrica debe cumplir unos estrictos requisitos de calidad que garanticen la estabilidad del nivel de tensión y la continuidad del servicio.

Hoy en día, el desarrollo tecnológico y la progresiva liberalización del mercado eléctrico, principalmente en los países desarrollados, hacen que no sea esperable una nueva inversión de esta tendencia.

Surge entonces, en las últimas décadas, un modelo alternativo a la generación de energía según el modelo tradicional. Este nuevo modelo acerca la generación de energía al consumidor y se denomina Generación Distribuida, de la cual se hablará en detalle más adelante. En rasgos generales, este nuevo modelo conllevaría las siguientes ventajas:

- Descongestión de los sistemas de transporte de energía actuales.
- Mejora de la fiabilidad del sistema de distribución energética
- Mejora de la calidad del servicio energético.

Por otra parte, mientras los costes energéticos están sufriendo incrementos constantes, a la vez se está produciendo una reducción progresiva de los costes de la generación distribuida. El reto tecnológico es muy alto en todos los subsistemas planteados, puesto que las soluciones de mercado no abordan la energía de forma integral (térmica + eléctrica) y, por ello, no se sigue una estrategia óptima en el uso eficiente de la energía. La estrategia de diseño óptima puede definirse como la estrategia que cumple los objetivos propuestos con el menor coste capital.

Sin embargo, otros aspectos deben ser tenidos en cuenta, como la reducción del consumo o las emisiones.

3 EDIFICIO Y DEMANDAS

3.1 Edificio objeto

El edificio sujeto a estudio para la mejora de su instalación de climatización y ACS es el hotel Catalonia Mikado, un hotel de 3 estrellas el cual se encuentra en Barcelona. Su ubicación geográfica exacta es la siguiente “Paseo Bonanova, 58, Sarrià-Sant Gervasi, 08017 Barcelona, España”.

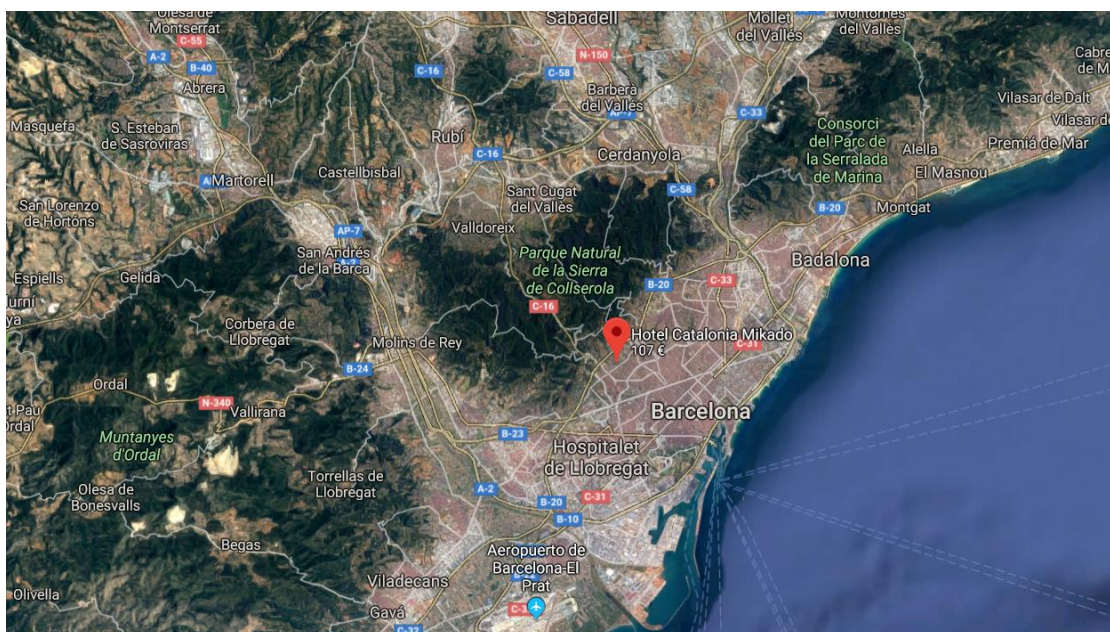


Figura 3-1. Ubicación geográfica hotel Catalonia Mikado. Fuente: Google Maps

En la exclusiva zona residencial que rodea el Paseo de la Bonanova, se alza este fantástico hotel Catalonia Mikado de 68 habitaciones.

Este elegante hotel alberga una terraza, patio interior ajardinado, jardín con piscina al aire libre y bañera de hidromasaje. Las habitaciones son funcionales y cuentan con aire acondicionado y calefacción en cada una de ellas. El área total del hotel es de 2980 m².

3.2 Zona climática

La determinación de la zona climática se ha obtenido a partir de registros climáticos contrastados a partir del cálculo de las severidades climáticas de invierno y de verano para dichas localidades. Una vez obtenidas las dos severidades climáticas, la zona climática se determinará localizando los dos intervalos correspondientes en los que se encuentran dichas severidades, de acuerdo con la tabla D.1. que figura en el código técnico de la edificación.

Tabla D.1.- Zonas climáticas

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 1. Zonas climáticas. Fuente: CTE

La severidad climática combina los grados-día y la radiación solar de la localidad, de forma que se puede demostrar que cuando dos localidades tienen la misma severidad climática de invierno (SCI) la demanda energética de calefacción de un mismo edificio situado en ambas localidades es sensiblemente igual. Lo mismo es aplicable para la severidad climática de verano (SCV). Para invierno se definen cinco divisiones distintas correspondientes a los siguientes intervalos de valores

A	B	C	D	E
$SCI \leq 0,3$	$0,3 < SCI \leq 0,6$	$0,6 < SCI \leq 0,95$	$0,95 < SCI \leq 1,3$	$SCI > 1,3$

Tabla 2. Severidad climática de invierno. Fuente: CTE

Para verano se definen 4 divisiones distintas correspondientes a los siguientes intervalos de valores

1	2	3	4
$SCI \leq 0,3$	$0,3 < SCI \leq 0,6$	$0,6 < SCI \leq 0,95$	$0,95 < SCI \leq 1,3$

Tabla 3. Severidad climática de verano. *Fuente: CTE*

Si se combinan las 5 divisiones de invierno con las 4 de verano se obtendrían 20 zonas distintas, de las cuales se han retenido únicamente las 12 en las cuales se ubican las localidades españolas. Las 12 zonas retenidas se identifican mediante una letra, correspondiente a la división de invierno, y un número, correspondiente a la división de verano.

Tanto la severidad climática de verano como la de invierno se calculan según correlaciones que tienen en cuenta otras variables como la media de grados-día de invierno y de verano, la radiación global acumulada o el ratio entre número de horas de sol y número de horas de sol máxima.

Se describe a continuación la zona climática en la que se encuentra el hotel objeto de estudio. El clima que corresponde a toda la ciudad de Barcelona es el de la zona C2, la cual se identifica por ser una zona de clima mediterráneo húmedo y septentrional al ser un clima marítimo.

Se caracteriza por tener inviernos relativamente húmedos y suaves, y veranos secos. Las estaciones más lluviosas son las intermedias, otoño y primavera. Lo más significativo del clima son los tres o cinco meses de aridez en el verano, cuando está bajo el dominio del anticiclón subtropical. Hay pocos días con temperaturas extremas, de frío o calor, por eso las medias anuales máximas y mínimas en Barcelona son moderadas, propias de un clima mediterráneo suave.

El mes más caluroso del año con un promedio de 24.1 °C es julio. A 9.8 °C en promedio, enero es el mes más frío del año.

A continuación, en la siguiente figura se recogen los valores medios por meses de la temperatura en Barcelona. Se ha representado la temperatura media, la máxima media y la mínima media. Los datos han sido calculados a partir de las temperaturas registradas entre los años 2007 y 2017. Los datos corresponden al Observatorio Fabra de Barcelona.

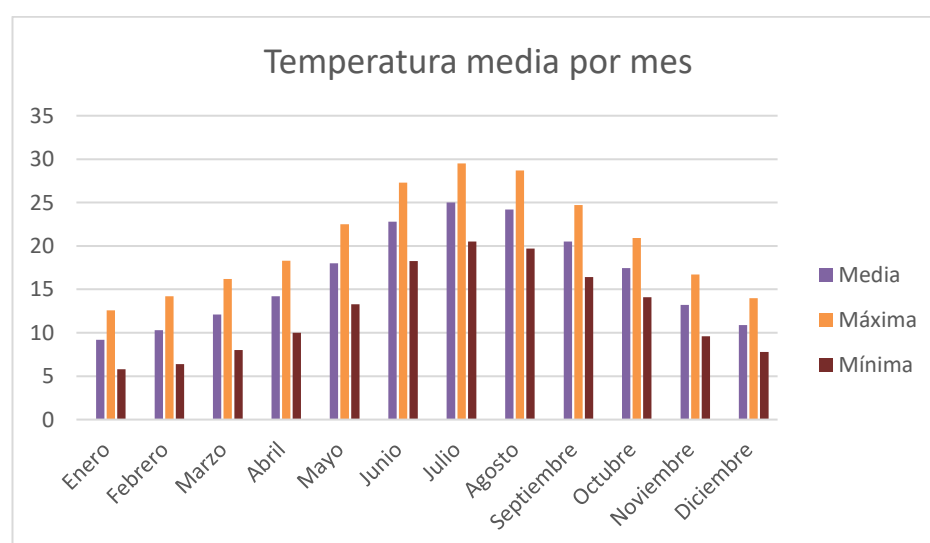


Figura 3-2. Valores medios de temperaturas en Barcelona. *Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue*

A continuación, se representa en la Figura 3-3 la precipitación media expresada en mm que ha sufrido la ciudad en los últimos 10 años. Los datos corresponden al Observatorio Fabra de Barcelona y se han obtenido de la Agencia Estatal de Meteorología.

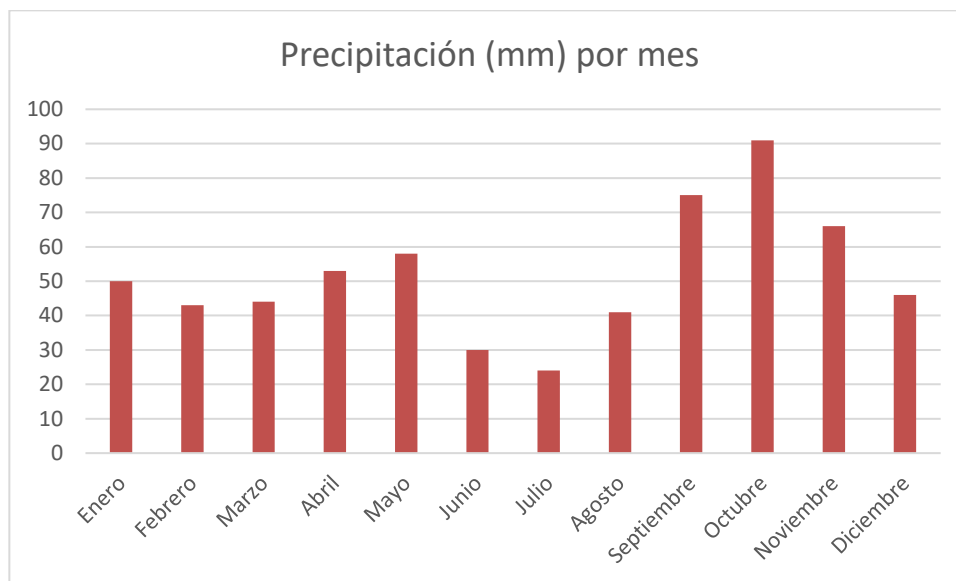


Figura 3-3. Precipitación media en Barcelona. Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue

También es un valor importante que observar la humedad relativa de la ciudad en estudio. Por ello se representan en la Figura 3-4 estos valores por mes correspondientes al Observatorio Fabra de Barcelona y obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología.

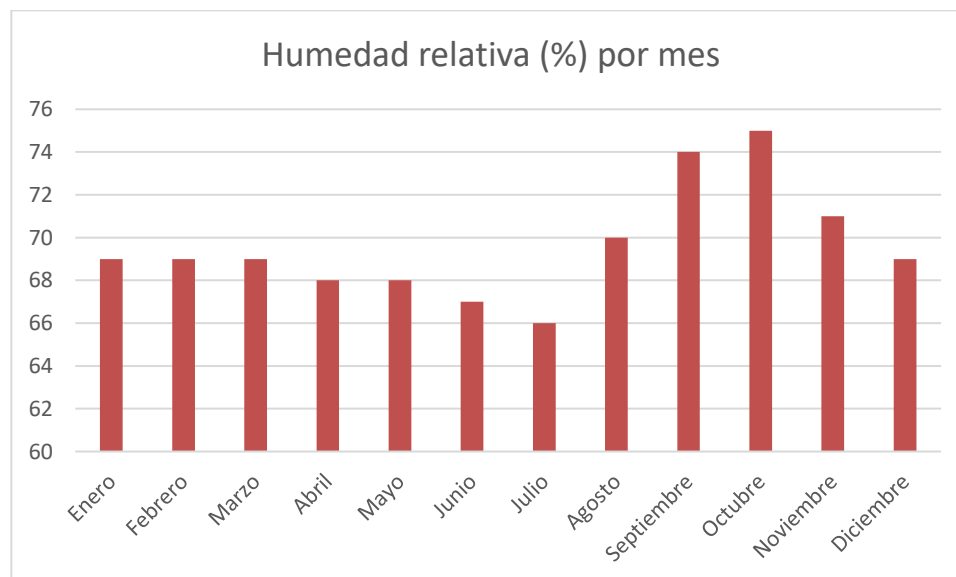


Figura 3-4. Humedad relativa media en Barcelona. Fuente: Elaboración propia, datos Meteoblue

3.3 Demanda

Según la zona climática donde se encuentre el edificio objeto, las demandas de calefacción y refrigeración de este varían.

La demanda de calefacción ha sido proporcionada en W por cada hora que contiene un año. Es decir, se han representado en la Figura 3-5 los valores de demanda de calefacción las 8760 horas que contiene un año.

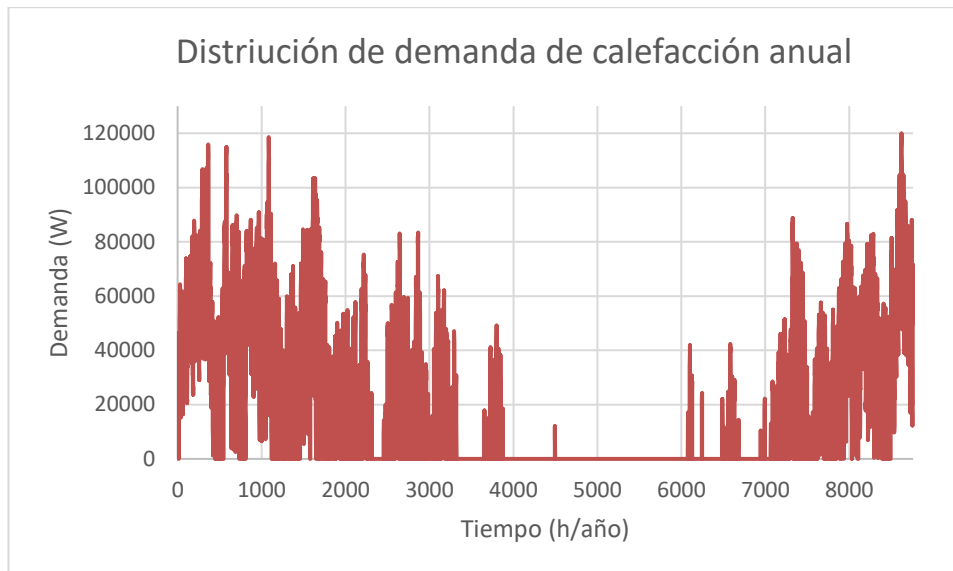


Figura 3-5. Demanda de calefacción en zona C2. Fuente: Elaboración propia, datos HULC

Se ha realizado de forma análoga la misma representación para la demanda de refrigeración del hotel. Esto se representa en la Figura 3-6

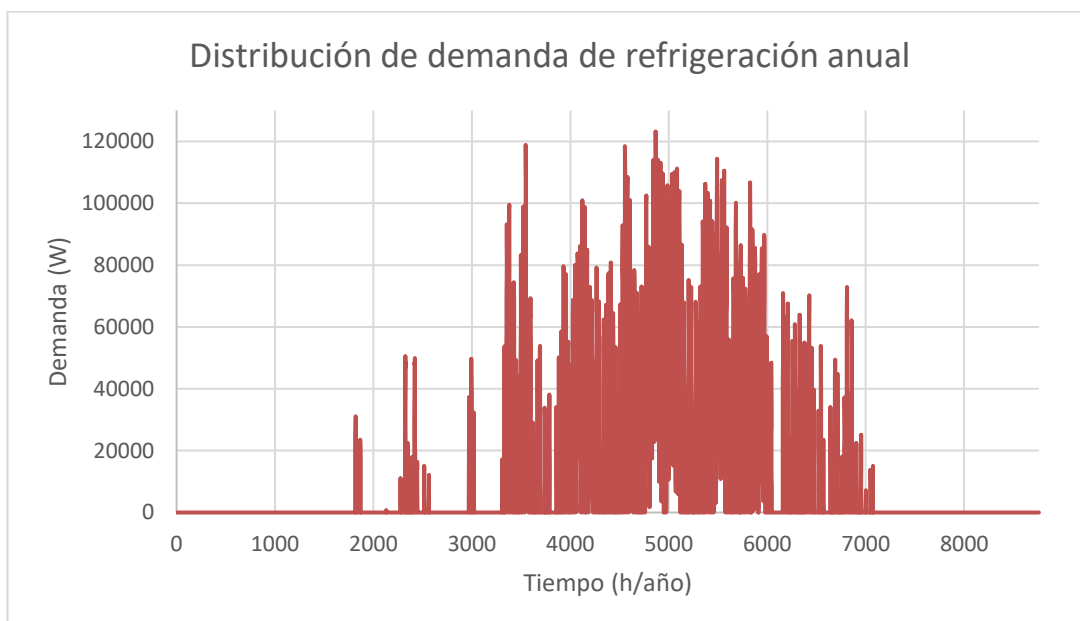


Figura 3-6. Demanda de refrigeración en zona C2. Fuente: Elaboración propia, datos HULC

Por el contrario, en este proyecto se va a considerar que la demanda de ACS depende tan solo de la ocupación del edificio y varía dependiendo de si el día es laborable, sábado o domingo.

La ocupación promedio del hotel Catalonia Mikado es de 87 personas y suponiendo una demanda, según el CTE, de 55 l/persona/día, se obtiene la demanda de ACS en m³/h durante las 24 horas de cada tipo de día. Se representan en la Figura 3-7.

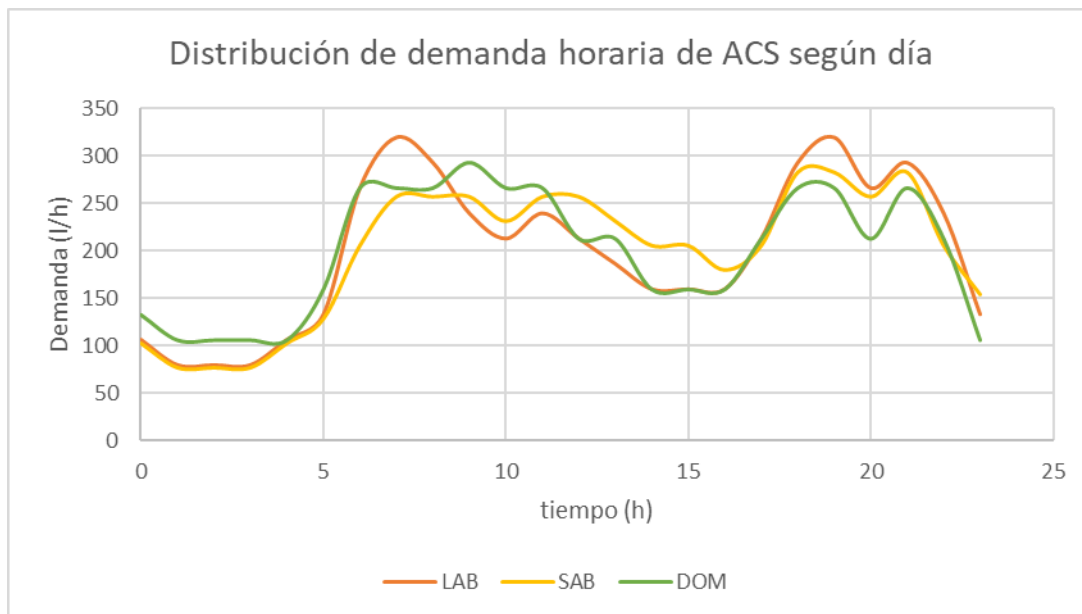


Figura 3-7. Demanda de ACS. Fuente: Elaboración propia, datos HULC

Cabe mencionar la herramienta utilizada para la obtención de los datos de demanda, la cual ha sido la herramienta unificada LINER-CALENER (HULC), con la que se simula el comportamiento energético de cualquier edificio gracias a la base de datos que posee y verificando en todo momento el cumplimiento de la normativa de Ahorro de Energía del CTE y así poder emitir el certificado de eficiencia energética.

Esta herramienta incluye la unificación en una sola plataforma de los anteriores programas generales oficiales empleados para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la Certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), ambos actualizados en el año 2013.

Esta herramienta informática permite la verificación de las exigencias 2.2.1 de la sección HE0, 2.2.1.1 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE. También permite la verificación del apartado 2.2.2 de la sección HE0 que debe verificarse, tal como establece el DB-HE, según el procedimiento básico para la certificación energética de edificios. Otras exigencias de las secciones HE0 y HE1 que resulten de aplicación deben verificarse por otros medios aparte de este programa.

4 ELEMENTOS DEL PROYECTO

4.1 Introducción

En este apartado se realiza una explicación detallada de los diferentes elementos y equipos que se encuentran en la instalación del Proyecto, así como algunas alternativas de diseño que podrían considerarse.

4.2 Equipos de calefacción

En una buena parte de las zonas climáticas de España la demanda de calefacción es muy superior a la demanda de frío. La mayor parte de edificios terciarios tiene un sistema de calefacción integrado en el mismo.

Aunque la caldera sea un elemento clásico de los sistemas de climatización, y cabría pensar que se está ante un producto maduro y completamente desarrollado, sin embargo, tecnológicamente no es así. Las legislaciones y reglamentaciones de cada país están evolucionando hacia mayores exigencias, tanto en términos de seguridad como en la pretensión de conseguir un desarrollo más sostenible.

Así en los años noventa aparecen las Directiva **90/396/CEE** sobre Aparatos de Gas, Directiva **92/42/CEE** sobre requisitos para las calderas nuevas y en los comienzos del siglo XXI aparecen las directivas sobre eficiencia energética en los edificios **Directiva 2002/91/CE**.

Se describen a continuación las calderas que se van a utilizar en nuestra instalación, las cuales son caldera convencional o estándar y caldera de condensación.

4.2.1 Calderas. Tipología

Las calderas usan una fuente de calor, generalmente la combustión de un combustible fósil, para calentar el agua y producir agua caliente o vapor. Las calderas alimentadas con carbón, madera y otros combustibles sólidos tenían una gran importancia en las industrias en el siglo XIX. Sin embargo, las calderas de hoy en día queman gas natural o petróleo, así como algunos combustibles sólidos, y continúan desempeñando un papel importante en la fabricación, la calefacción y la generación de electricidad. Las calderas son esenciales en muchas industrias intensivas en energía y comprenden un importante componente de la energía de la mayoría de los países desarrollados.

Atendiendo a la especificación del **RD 275/1995** trasposición de la **Directiva 92/42/CEE** relativa a los requisitos de rendimiento para calderas de gas o gasóleo, se pueden clasificar estas en las tres categorías siguientes:

- Caldera estándar: Caldera cuya temperatura media de funcionamiento puede limitarse a partir de su diseño. Este tipo de calderas no están previstas para resistir la condensación eventual del vapor de agua que contienen los gases de combustión, por lo que los humos deben salir a una temperatura relativamente alta.
- Caldera de baja temperatura: Caldera que puede funcionar continuamente con una

temperatura de agua de alimentación de 35 a 40° C y que en determinadas circunstancias puede producir condensación. Los materiales que se emplean en el intercambiador, cámara de combustión y quemadores son capaces de soportar la corrosión que pudieran provocar los condensados que aparezcan de forma esporádica. Se incluyen también en esta clasificación las calderas de condensación que utilizan combustibles líquidos.

- Caldera de gas de condensación: Caldera diseñada para condensar de forma permanente una parte importante del vapor de agua contenido en los gases de combustión.

Los diferentes tipos de caldera deberán asegurar un rendimiento mínimo en función de la potencia nominal útil de esta. Se recogen estos valores en la Tabla 4. Mínimos de rendimiento

Tipo de caldera	Potencia nominal		Carga parcial	
	T media (°C)	Rendimiento mínimo	T media (°C)	Rendimiento mínimo
Estándar	70	$84+2 \cdot \log(Q_u)$	50	$80+3 \cdot \log(Q_u)$
Baja temperatura	70	$87,5+1,5 \cdot \log(Q_u)$	40	$87,5+1,5 \cdot \log(Q_u)$
Condensación	70	$91+1 \cdot \log(Q_u)$	30	$97+1 \cdot \log(Q_u)$

Tabla 4. Mínimos de rendimiento. *Fuente: Elaboración propia, datos*

4.2.2 Caldera convencional

Las calderas convencionales son equipos en los que el calor se genera mediante la combustión de gasóleo, gas natural, etc, que calientan un fluido que generalmente es agua y que realiza un recorrido por el sistema de distribución.

El calor se obtiene por la combustión en los hogares de las sustancias apropiadas (combustible) y haciendo luego que ese calor se transmita al agua.

Las calderas se diferencian por su configuración, tamaño y la calidad del vapor o de agua caliente producida.

Estas suelen tener un rendimiento aproximado del 90%. La admisión del aire y evacuación de los humos se realizan en una cámara cerrada sin contacto con la instalación. Son las más antiguas del mercado y también son conocidas como calderas normales o solo de calor. Requieren de un tanque de almacenamiento de agua fría (extrae agua fría de la red) para alimentar el cilindro de agua caliente. También requiere de un tanque para mantener el nivel de agua de la calefacción central.

Según la **Directiva Europea 92/42/CEE** que fue transpuesta a la legislación española mediante el **Real Decreto 275/1995** de 24 de febrero, la caldera estándar es aquella que debe trabajar con temperaturas de retorno superiores al punto de rocío de los humos ya que no soportan los efectos de las condensaciones en su interior. La temperatura media de funcionamiento no puede ser inferior a 75°C. Debido a este requerimiento, este tipo de calderas tienen menor rendimiento a carga parcial que a carga total.

Las calderas convencionales trabajan con temperaturas de agua caliente entre 70-90°C y con temperaturas de retorno superiores a 55°C.

Entre sus ventajas destaca que son aptas para producir ACS y su elevada vida útil (aprox. 15-20 años). Sin embargo, también tienen inconvenientes como su elevado consumo y la imposibilidad de ofrecer refrigeración, además de un elevado coste en mantenimientos periódicos.

4.2.3 Caldera de condensación

4.2.3.1 Introducción

En este apartado se pretende profundizar sobre el proceso físico de la condensación, bajo el prisma de las calderas de condensación, como mejora de la eficiencia energética de los generadores de calor, aplicados a los sistemas de calefacción en edificios.

Como se ha expresado en el punto 4.2, la tecnología de las calderas ha conseguido los niveles de seguridad legislados en los 90 y sin duda se están alcanzando los niveles tecnológicos en materia de eficiencia energética, en parte, gracias a las calderas de condensación.

Estas calderas están diseñadas para utilizar el calor latente liberado por la condensación del vapor de agua contenido en los productos de combustión. Es necesario que la caldera permita la salida de condensados del intercambiador de calor en forma líquida por medio de un drenaje de condensación.

4.2.3.2 Principios básicos de la condensación

Se denomina condensación al proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de energía llamada "calor latente". El paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura.

La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía. Así, el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético.

La técnica de condensación se apoya en reducir al máximo la temperatura de los humos de cara a enfriarlos por debajo de su punto de rocío, forzando a estos a condensarse, y así aprovechar el calor de condensación del vapor del agua.

Además, se reducen considerablemente las pérdidas por humos a través del sistema de salida de gases procedentes de la combustión.

Esto se consigue al reducir la temperatura media de la caldera trabajando entonces con sistemas de calefacción con temperaturas de retorno bajas.

4.2.3.3 Rendimiento útil nominal

El rendimiento se define como la relación entre la potencia útil que se obtiene al calentar agua y la carga desarrollada por el gas al quemarse.

El rendimiento útil nominal (η_u) se utiliza cuando la caldera está funcionando. Es necesaria su definición debido a que no toda la energía que llega a la caldera (potencia nominal q_n) proveniente del combustible es aprovechada por ella (potencia útil q_u) para calentar el agua, ya que existen pérdidas de energía por su envolvente (radiación de calor q_{rc}) y por los humos (pérdidas de calor sensible q_{hs}), pues los mismos salen a temperatura más alta, y por inquemados debidos a que la combustión en la caldera no siempre es completa (q_i). Se ve de forma más gráfica en la siguiente figura.

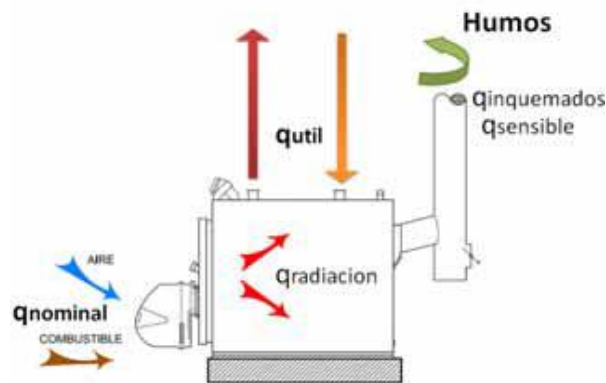


Figura 4-1. Balance de energía en la caldera. Fuente: DTIE 10.05

Se debe expresar el rendimiento nominal útil (η_u) de una caldera, que es el rendimiento puntual, considerando también las pérdidas por la envolvente de la caldera.

$$\eta_u(\%) = \frac{q_u}{q_n} \cdot 100 = 100 - \frac{q_{hs} + q_i + q_{rc}}{q_n}$$

4.2.3.4 Rendimiento estacional

El rendimiento estacional (η_e) contempla las pérdidas debidas a los periodos de parada de la caldera, en los cuales la misma cede calor al ambiente a través de su envolvente, hasta enfriarse, y a la vez también cede calor al circuito de humos debido a la circulación de aire en los periodos de parada y en las arrancadas en el proceso de prebarrido. Estas pérdidas son conocidas como pérdidas por disposición de servicio.

Se distinguen, por tanto, tres periodos en el horario de servicio de una caldera, las horas de funcionamiento, las horas de parada y las horas de arranques.

El rendimiento estacional siempre es menor que el de generación, y disminuye a medida que aumenta el número de arrancadas y paradas del equipo, pues las pérdidas por ventilación y radiación son proporcionales a estos tiempos.

Por este motivo se utilizan quemadores de varias etapas, con el fin de reducir el número de arrancadas; se tienen quemadores de dos etapas, que pueden trabajar a potencia total o a media carga, y quemadores modulantes, que son capaces de producir un amplio margen de potencias; en las calderas de condensación habitualmente se utilizan quemadores modulantes.

4.2.3.5 Tipos de instalaciones

La caldera de condensación está indicada para cualquier tipo de instalación, ya sea para calefacción y/o agua caliente sanitaria, independientemente de la temperatura de trabajo, tipo de emisores, etc.

Las calderas de condensación pueden aplicarse a todas las instalaciones de calefacción. El calor de condensación explotable dependerá de la configuración de la instalación.

4.3 Equipos de refrigeración

4.3.1 Enfriadora

La UNE-EN 14511-1 (Mayo 2004), define una enfriadora de líquido como un “aparato montado en fábrica concebido para la refrigeración de líquido utilizando un evaporador, un compresor de refrigerante, un condensador integrado o externo y los controles adecuados. Puede además tener dispositivos para calentar que pueden ser por inversión de ciclo de refrigerante como en la bomba de calor”.

Las enfriadoras de agua se basan en el ciclo frigorífico de compresión mecánica para la obtención del efecto frigorífico, fundamentado en el ciclo inverso de Carnot (máquina frigorífica ideal) cuyos componentes básicos son un compresor, un evaporador, un condensador y un sistema de expansión. El corazón del sistema de refrigeración por compresión mecánica es el compresor.

El principio básico que rige el funcionamiento de las enfriadoras de agua es la absorción de calor por parte de un líquido para realizar el cambio de estado a vapor, enfriando un medio externo.

El refrigerante vaporizado, está dentro de un circuito cerrado y es recuperado para que se produzca cíclicamente el cambio de estado para una producción de frío continua.

La evaporación del refrigerante se produce a baja presión en el evaporador. Para poder ser de nuevo evaporado, debe pasar antes por estado líquido.

Mediante un aporte externo de energía, se eleva la temperatura del gas a su paso por el compresor mediante una compresión isentrópica desde vapor saturado a la presión de evaporación hasta la presión de condensación.

En el condensador se pasa de nuevo al estado líquido mediante la cesión de calor a presión constante un medio externo (enfriamiento sensible + condensación).

Por último, una válvula de expansión baja la presión del refrigerante mediante una expansión adiabática e irreversible (isentálpica) desde líquido saturado y lo lleva a las condiciones de entrada del evaporador para un nuevo cambio de estado.

Las máquinas térmicas poseen distintas limitaciones, como pueden ser las pérdidas de carga a lo largo del circuito, la irreversibilidad de la expansión, la imposibilidad de realizar la compresión de manera isentrópica o las diferencias de temperaturas en los intercambios. A parte de estos, existen otros fenómenos como el recalentamiento del vapor a la salida del evaporador y el subenfriamiento del líquido a la salida del condensador, que hacen que el ciclo adopte un comportamiento más real.

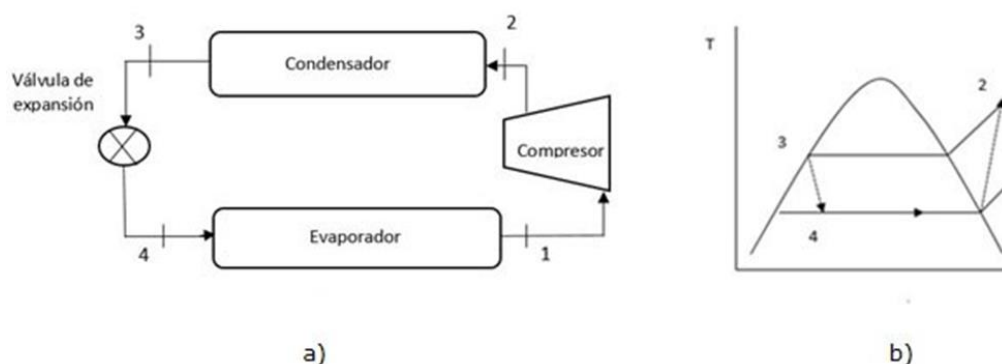


Figura 4-2. Ciclo frigorífico de compresión mecánica simple. Fuente: Universidad Técnica de Manabí

Uno de los parámetros más importantes de este equipo frigorífico es el COP (Coefficient of Performance) teórico, el cual se calcula según el ciclo simple de compresión mecánica de Carnot.

La instalación frigorífica tiene como objetivo absorber una cantidad determinada de calor del foco frío Q_{ff} , aplicando cierta cantidad de trabajo, de tal forma que se produzca en el foco caliente una cantidad de calor Q_{fc} mayor que Q_{ff} . También se parte de la base de que el ciclo es reversible pudiendo, por tanto, ser recorrido en ambos sentidos, entendiendo que el camino se recorre en sentido inverso.

$$COP_{cc} = \frac{Q_{ff}}{Q_{fc} - Q_{ff}}$$

Por otro lado, se tiene el COP real o el también llamado EER, que es el coeficiente del funcionamiento real, el cual se obtiene dividiendo la potencia frigorífica total y el trabajo de compresión que se realiza en el ciclo.

$$COP_{real} = \frac{Q_f}{W_c}$$

En cualquier caso, el COP real no podrá superar al COP de Carnot, ya que este último mide la máxima eficiencia o capacidad que tendría el ciclo.

4.3.2 Tipologías de enfriadoras

La obtención de aire frío se consigue gracias a un proceso de transferencia térmica. El aire es enfriado mediante el intercambio con un medio más frío y posteriormente distribuido a aquellos puntos donde se produce la demanda de frío.

Existen dos tipos fundamentales de equipos de climatización empleados con este fin:

- Unidades de expansión indirecta o equipos centralizados: El evaporador o el condensador del sistema de refrigeración enfría o calienta un fluido secundario que se hace circular para enfriar o calentar al medio. En general, el equipo productor de frío estará situado en un local distinto al de utilización.
- Unidades de expansión directa o equipos autónomos: Son aquellas en las que la transferencia térmica se lleva a cabo entre un fluido refrigerante a baja temperatura y el aire a enfriar. El evaporador o el condensador del sistema de refrigeración está en contacto directo con el medio a enfriar o calentar.

A las unidades de expansión directa pertenecen las enfriadoras de agua. Se emplea el agua como refrigerante secundario y ésta es enfriada en la transferencia térmica con un refrigerante. Posteriormente esta agua se distribuye para el acondicionamiento de aire.

Las enfriadoras de líquido se clasifican de modo que se indica primero el medio de transferencia de calor para el intercambiador de calor y en segundo lugar con qué fluido se produce el intercambio interior (según la **UNE-EN 14511-1**) resultando la siguiente tabla:

Medio de transferencia de calor		
Intercambiador exterior	Intercambiador interior	
Aire	Agua	Bomba de calor aire/agua o enfriadora de líquido condensada por aire
Agua	Agua	Bomba de calor agua/agua o enfriadora de líquido condensada por agua
Salmuera	Agua	Bomba de calor salmuera/agua o enfriadora de líquido condensada por salmuera

Figura 4-3. Clasificación de enfriadoras en función del medio de transferencia. *Fuente: Elaboración propia*

A pesar de existir más clasificaciones, se destacan a continuación los dos grupos siguientes:

- Enfriadoras de agua condensadas por agua: Se benefician del calor específico del agua y su calor latente de vaporización. El agua utilizada para la condensación puede ser agua de una torre de enfriamiento o puede ser agua perdida de pozos, lagos, ríos, etc. En conclusión, requieren una red de suministro de agua. Producen unos rendimientos energéticos mejores que las que utilizan aire exterior, debido a la menor temperatura de condensación y la mayor uniformidad de la temperatura a lo largo del año.
- Enfriadoras de agua condensadas por aire: El aire está disponible a coste cero. Sin embargo, su bajo calor específico obliga a mover grandes cantidades de este para un buen intercambio térmico y se hace necesario el uso de ventiladores. Además, estos equipos son más ruidosos que los condensados por agua, y a parte, para un mismo consumo de potencia aportan menos potencia frigorífica y calorífica.

Existen otros criterios para la clasificación de las máquinas enfriadoras como:

- Atendiendo a la inversión término que sea capaz de realizar la máquina.
- Atendiendo al número de unidades que se divide el ciclo de refrigeración.
- Atendiendo al tipo de descarga.
- Atendiendo al tipo de localización de la unidad interior.

4.3.3 Enfriadora con recuperación de calor

4.3.3.1 Fundamentos

La recuperación de calor consiste en intentar aprovechar las pérdidas energéticas que se producen en un sistema común de acondicionamiento de aire.

El calor de condensación que se desperdicia al enfriar un local en un sistema aire-aire y se tira al ambiente, en este tipo de sistemas se aprovecha y se conduce a otros locales donde es útil.

En el caso de sistemas de recuperación de calor se utilizan normalmente 3 tubos desde la unidad exterior hasta las cajas repartidoras o selectoras de flujo y posteriormente 2 tubos desde éstas hasta las unidades interiores.

La recuperación del calor generado en los procesos de enfriamiento es sin duda una de las inversiones más rentables en eficiencia energética que se puede realizar cuando hay gran consumo de frío. Pero como siempre ocurre en la eficiencia energética aplicada a los procesos térmicos también existen diferentes alternativas de ingeniería que ayudarán a rentabilizar aún más el proyecto de recuperación de calor.

En primer lugar, hay que indicar que el fundamento del uso de este equipo en el presente proyecto es recuperar el calor que se rechaza en los sistemas de enfriamiento, por lo que el éxito de esta medida está en que se evita generar energía al aprovechar el calor residual de un proceso. Cuando un equipo de enfriamiento trabaja produce una enorme cantidad de calor, exactamente produce una energía que es igual a la carga de enfriamiento más la entrada de energía en los compresores.

Cualquier consumidor de frío en grandes cantidades está tirando al ambiente una enorme cantidad de calor que pide ser recuperado. Al estudiar procesos industriales de frío es común encontrar que el mismo usuario está tirando calor por un lado y luego comprando calor por otro para otra necesidad de su proceso industrial, lo cual solo genera pérdidas económicas y poca eficiencia energética.

La recuperación de calor en los procesos de frío a su temperatura de condensación normal es usualmente simple y no suele generar problemas. Sin embargo, la baja temperatura del calor recuperado es una limitación fundamental. Para alcanzar máxima eficiencia en los procesos de enfriamiento el diseño considera una temperatura de condensación cercana a la temperatura del aire exterior. Si bien la temperatura que puede obtenerse recuperando calor en estos procesos no tiene muchas veces aplicación práctica, sí que resulta de gran interés en industrias con procesos industrializados.

El calor se dibuja en el sistema para proporcionar refrigeración interior, mientras que el calor deja el sistema en la forma de calor desperdiciado en el condensador. De esta forma se ve en la Figura 4-4.

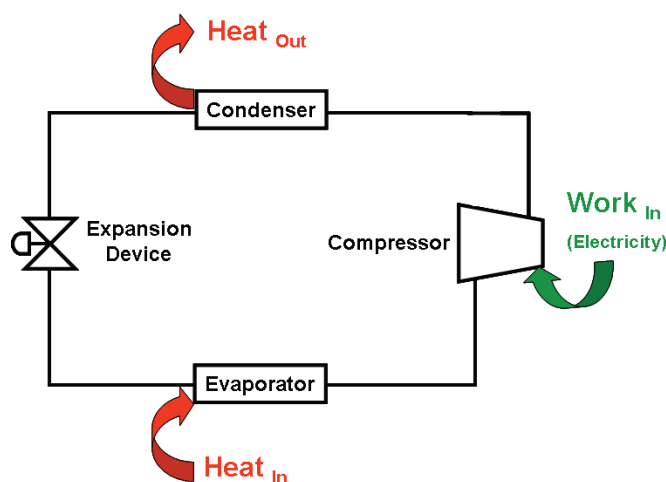


Figura 4-4. Calor y trabajo en un sistema de refrigeración. Fuente: Carrier

El uso de la recuperación de calor para generar agua caliente puede reducir el total de las necesidades energéticas de un edificio si es utilizado correctamente.

Para determinar el potencial del uso de este calor residual, las eficiencias del sistema deben entenderse. Anteriormente se explicó la medida más común de la eficiencia de un sistema de aire acondicionado (COP).

Con sistemas de recuperación de calor, se puede sacar provecho del agua fría. Entonces, la ecuación

que cuantifica el beneficio combinado de agua caliente y fría se puede expresar como se muestra en la siguiente ecuación.

$$COP_{real} = \frac{Q_{out}}{W_{in}} + \frac{Q_{in}}{W_{in}}$$

Esta eficiencia combinada puede contribuir a reducir todo el consumo de energía del edificio. Sistemas que generan suficiente el calor útil para la calefacción y la refrigeración son completamente posibles. De hecho, los sistemas de recuperación de calor pueden generar agua caliente y fría simultáneamente para su uso dentro del edificio o para aplicaciones de proceso.

4.3.3.2 Tipos de recuperación de calor

Hay dos métodos más conocidos a la hora de poner en marcha la recuperación de calor, uno es usando un intercambiador de calor, y otro usando un condensador adicional.

La Figura 4-5. Recuperación de calor usando intercambiador de calor. La Figura 4-5 utiliza un intercambiador de calor fuera del condensador refrigerado por agua. En lugar de rechazar el calor a la torre de refrigeración, el calor es recuperado del agua del condensador. Normalmente, la temperatura del agua de calentamiento es menor que en el siguiente caso debido a la transferencia de calor que realiza el intercambiador de calor.

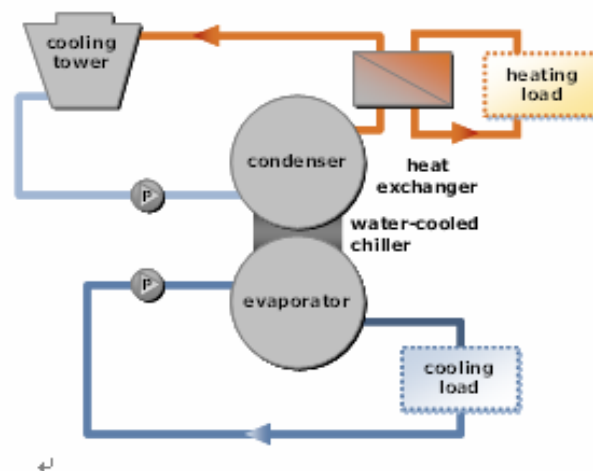


Figura 4-5. Recuperación de calor usando intercambiador de calor. Fuente: *HVAC Technologies for Energy Efficiency*

En el otro método, esta recuperación de calor puede tomarse directamente del refrigerante caliente en el circuito de refrigeración (véase Figura 4-6) utilizando un condensador adicional que está canalizado en paralelo con el condensador tradicional.

El circuito de calefacción y el circuito de la torre de enfriamiento están separados, evitando la contaminación cruzada.

En este caso, por lo general, la temperatura del agua de calentamiento es mayor debido a la transferencia directa de calor por el haz del condensador.

Concluyendo, la recuperación de calor usando dos condensadores produce temperaturas mayores que usando un único intercambiador. Las enfriadoras con recuperación de calor pueden proporcionar más calor con menos eficiencia que operando en modo de producción de frío únicamente.

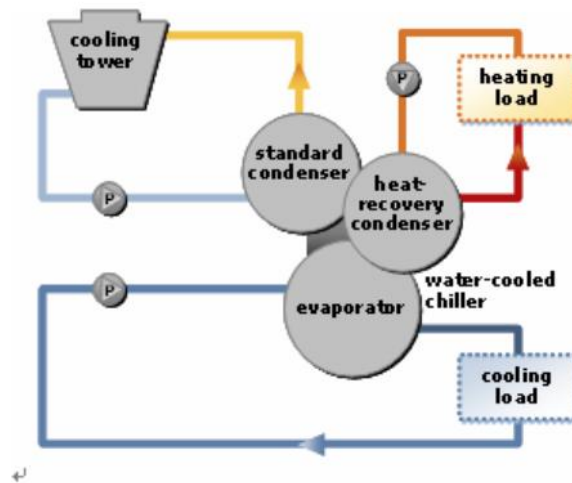


Figura 4-6. Recuperación de calor usando un condensador adicional *Fuente: HVAC Technologies for Energy Efficiency*

4.3.3.3 Principales intereses de la recuperación de calor

- Máxima cantidad posible de recuperación de calor: En teoría, la cantidad de calor es la suma de la carga de enfriamiento y la potencia del compresor. La cantidad máxima de recuperación de calor puede ser del 100% de la capacidad de enfriamiento para algunos enfriadores centrífugos usando un condensador adicional. La cantidad de calor se reducirá en función de la capacidad de enfriamiento cuando se trabaje a carga parcial.
- La máxima temperatura alcanzable del agua de calefacción: Como la enfriadora con recuperación de calor elimina el calor en el evaporador de la carga de enfriamiento que va al condensador, y luego recupera el rechazo de calor del condensador hacia la torre de refrigeración. Tiene prioridad entonces la producción de frío, la recuperación no puede recuperarse sin esta producción de frío.
- Temperatura del agua de calentamiento y control: Siempre es deseable usar una temperatura de agua caliente tan baja como la aplicación lo permita. En general, el consumo de energía en la recuperación de calor aumentará de 7 a 14% por cada 5,6° C que se aumente en la temperatura del agua de diseño.

En la mayoría de los casos, el control de esta temperatura debe diseñarse para mantener la temperatura del agua de retorno.

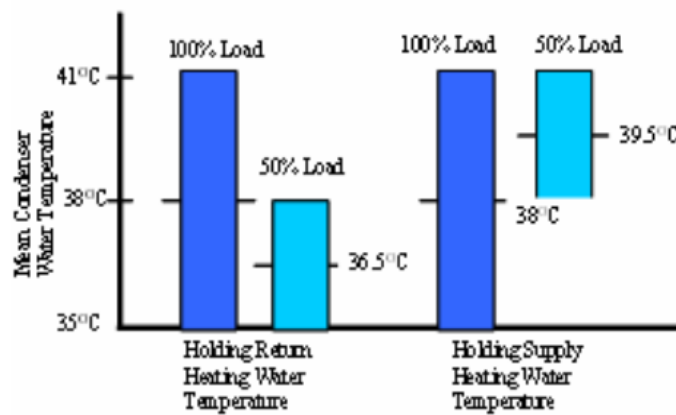


Figura 4-7. Control de la temperatura del agua de calentamiento. Fuente: *HVAC Technologies for Energy Efficiency*

4.4 Sistemas de almacenamiento

4.4.1 Introducción

Es necesario el uso de sistemas de almacenamiento de calor (SAC), bien sea caliente o fría, debido a que la demanda de calefacción, de ACS o de refrigeración varía de forma horaria. De esta forma, en momentos en los que hay demanda, se toma el agua de los depósitos acumuladores y simultáneamente estos se reponen con la producción de los equipos.

El objetivo de los acumuladores es el almacenamiento de energía térmica durante períodos para poder suministrar energía de la forma más eficaz cuando se necesite. Esto conllevó un aumento del rendimiento de la instalación.

La acumulación es, por ello, muy interesante para sistemas de ACS con captadores solares, ya que las horas de mayor entrada de energía no suelen corresponderse con con las horas de mayor demanda energética, lo que permite independizar por completo el suministro de calor solar del consumo.

De forma general, los sistemas de almacenamiento de calor son depósitos cilíndricos y verticales (siendo la altura mayor al diámetro de este), con paredes de material aislante y que contienen dos serpentines, uno para introducir calor y el otro para extraerlo. Está lleno de fluido caloportador, que en nuestro caso es agua. Estos acumuladores suelen fabricarse con materiales tales como: acero, acero inoxidable, aluminio o fibra de vidrio reforzado.

4.4.2 Características de los acumuladores

Los acumuladores deben cumplir una serie de requisitos para que puedan usarse.

- Una característica muy importante que deben tener es que las pérdidas sean lo menor posible.
- Calor específico del fluido con el que se almacena lo mayor posible, para así asegurar mayor transferencia de calor entre medios de transferencia.
- Ser capaces de soportar tanto las presiones como las temperaturas de trabajo manteniendo una larga durabilidad.
- Impacto ambiental escaso o nulo.
- Bajos costes.

Por todos estos motivos, como medio de acumulación se suele elegir el agua normal, debido a su disponibilidad, su alto calor específico y a no ser contaminante para el medio ambiente.

4.4.3 Tipología de acumuladores

Existen una gran cantidad de acumuladores disponibles, y según la aplicación en la que vayan a incorporarse interesará más el uso de unos o de otros. A continuación, se va a hacer una breve introducción a la tipología más general y usada dentro de todos los acumuladores.

4.4.3.1 Acumuladores sin intercambiador de calor

Este tipo de acumuladores son los más sencillos, ya que almacenan el agua caliente y contienen en su interior el sistema de generación de calor, generalmente una resistencia que se enchufa a la corriente eléctrica para su funcionamiento y son los llamados termos eléctricos.

4.4.3.2 Acumuladores con intercambiador de calor

Cuando tienen un intercambiador en su interior también se les llama interacumuladores de agua. El serpentín es el intercambiador que se encarga de transferir el calor del circuito primario al circuito secundario.

- De serpentín: el generador de calor se encuentra fuera del acumulador, y por ello es necesario disponer de un intercambiador de calor, en este caso en forma helicoidal, para transmitir el calor desde el hogar de la caldera, paneles solares o sistema elegido, hasta el acumulador. La ventaja de independizar el circuito calefactor del agua de consumo es, sin duda, una medida de higiene, además de permitir el uso de anticongelantes. En la Figura 4-8 se puede observar cómo sería este interacumulador que se ha explicado y su funcionamiento de una forma más visual.

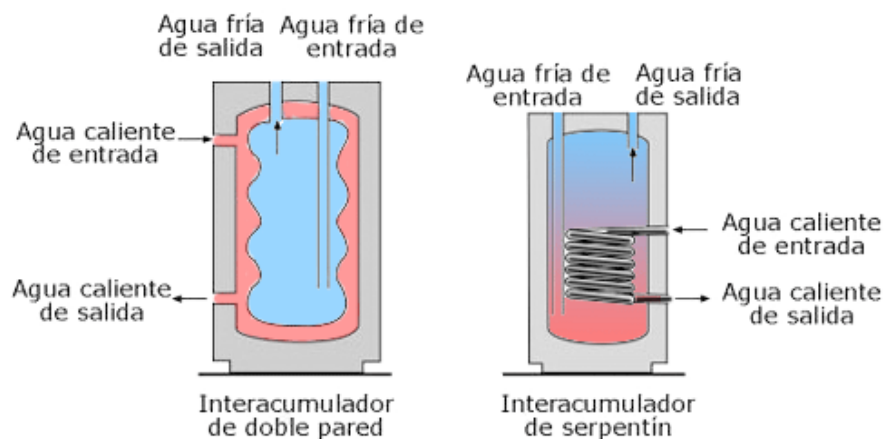


Figura 4-8. Acumulador de doble evolvnte y acumulador de serpentín. Fuente: *Calor y frío*

- De doble serpentín: se utilizan principalmente cuando además de proporcionar agua caliente sanitaria se quiere utilizar la energía acumulada para una instalación de calefacción a baja temperatura como un suelo radiante. El primer serpentín sería el que proporciona el calor situándose en la parte inferior del acumulador y el segundo serpentín aprovecha el calor acumulado para el circuito de calefacción y se sitúa en la parte superior del acumulador.

4.4.3.3 Acumuladores de doble envolvente

Acumuladores para instalaciones domésticas que requieren un buen intercambio de calor y una acumulación que garantice un confort de agua caliente sanitaria en todo momento.

El intercambiador está formado por una doble camisa que envuelve el acumulador, permitiendo trabajar en instalaciones por termosifón (sin bomba en el sistema primario). De esta forma este tipo de acumulador tiene gran utilidad en sistemas de energía solar térmica cuando se trata de instalaciones de circulación natural.

En la Figura 4-8 se puede ver cómo es un acumulador de doble envolvente y por dónde circula el agua fría y caliente en el mismo.

Con capacidades entre 80l y 300l para colocación horizontal o vertical, es posible cubrir las necesidades de cualquier tipo de instalación para las que están concebidos.

4.4.3.4 Acumuladores con estratificación

Son también equipos con forma cilíndrica que permite la mejor estratificación de temperaturas en su interior. Este principio físico se debe a que la densidad del agua disminuye con el aumento de la temperatura y, por lo tanto, cuanto mayor sea la altura que tenga el acumulador mayor va a ser la estratificación que se produzca, al haber una mayor diferencia de temperaturas del agua.

El calentamiento se va realizando en la parte inferior del depósito y el agua que va al circuito secundario se obtiene de la parte superior del mismo.

En la Figura 4-9 se pueden ver diferentes niveles de estratificación, desde mejor estratificado (a), hasta conseguir una misma temperatura uniforme en todo el depósito (c).

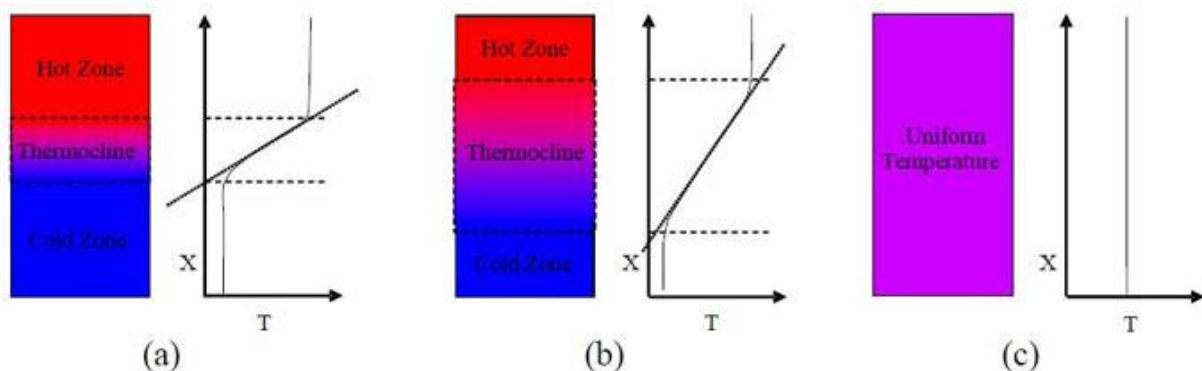


Figura 4-9. Tanque de almacenamiento con diferentes niveles de estratificación. Fuente: Ecovat

La estratificación de temperaturas no es trivial, ya que está condicionada por diversos factores de diseño. Uno de los más importantes es la posición de entrada/salida de las tuberías y el caudal que entra/sale.

La pretensión es que el agua que viene de la fuente de producción entre en el acumulador a la altura correspondiente con la temperatura que trae de forma que no exista un gran gradiente de temperatura al entrar el agua en el acumulador, si no que este sea lo más leve posible.

De esta forma se evitaría la formación de mezclas de aguas a temperaturas diferentes, mientras que el agua de la parte superior sigue estando a la máxima temperatura posible y la de la parte inferior a la menor temperatura posible.

Sin embargo, es inevitable que dentro del acumulador se produzcan corrientes, ya que el agua fría entra por la parte baja del acumulador y se extrae el agua caliente por la parte superior del mismo.

Uno de los factores que favorece a la estratificación de temperaturas es que la relación entre la altura del acumulador y su diámetro sea tan alta como sea posible, ya que esto permitiría que la diferencia entre la temperatura de la parte superior e inferior sea lo mayor posible.

4.4.3.5 Acumuladores de inercia

Son los más utilizados tanto para calefacción como para instalaciones de refrigeración. Están también especialmente destinados a la acumulación de agua del circuito primario, produciendo simultáneamente agua caliente sanitaria por acumulación.

Tanto en el caso de la calefacción como de la refrigeración, consigue reducir las paradas y arranques de la enfriadora o la caldera ante pequeñas variaciones de temperatura al asegurar una temperatura media prácticamente constante. Esta agua refrigerada, o calentada, se acumula en el circuito primario, por lo que nunca deben ser instalados en el circuito secundario.

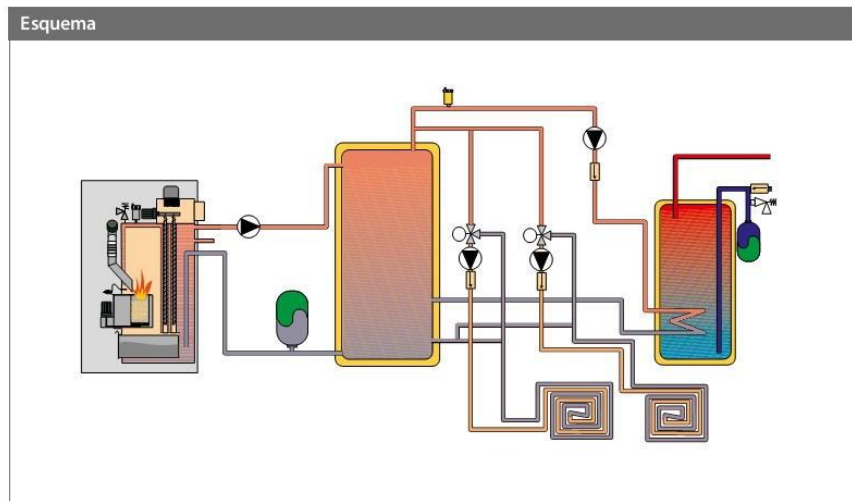


Figura 4-10. Depósito de inercia. Fuente: Domusa BT

4.4.4 Problemática

- Uno de los mayores problemas de cualquier tipo de acumulador que se utilice es la bacteria legionella, la cual es causante de la enfermedad legionelosis, que puede llegar a producir neumonía y si no se trata a tiempo, incluso la muerte. Se adquiere al aspirar partículas de agua que puedan contener dicha bacteria, en circuitos de aire acondicionado o en la ducha. La legionella se encuentra libre en el medio natural acuático y puede proliferar en depósitos de agua, preferiblemente si estos se encuentran a temperaturas medias y con agua algo estancada.

Es fundamental que se evite la proliferación de legionella en el depósito acumulador, se puede evitar la infección del agua de consumo incorporando un intercambiador de calor instantáneo, al circuito de distribución de agua caliente sanitaria, de manera que el agua de consumo no sea la almacenada en el acumulador, sino el agua corriente de suministro.

Por ello, el sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta

70°C con objeto de prevenir la legionelosis (destruirla con estas altas temperaturas), tal como aparece en el **RD 909/2001** de 27 de julio según el HE4 del CTE.

- Otro factor que se debe tener en cuenta son las pérdidas térmicas, ya que las temperaturas de una instalación de calefacción o de ACS varían continuamente pudiendo llegar a alcanzarse valores elevados en los acumuladores (cerca a 100°C). Por ese motivo tanto los materiales como las protecciones de los acumuladores han de seleccionarse atendiendo a las temperaturas mencionadas.

Para disminuir las pérdidas térmicas ha de cubrirse toda la superficie exterior del acumulador, tuberías y bocas de conexión con material aislante adecuado que, en caso de que el acumulador esté situado en el exterior, ha de ser también resistente a la humedad y a la radiación solar, o se ha de colocar sobre él algún tipo de recubrimiento exterior resistente a estos dos factores. También se recomienda emplear acumuladores en los que el cociente entre la superficie exterior y el volumen sea bajo; en este sentido resulta más adecuado el empleo de un único acumulador frente a varios.

4.5 Intercambiadores de calor

El papel de los intercambiadores térmicos ha adquirido una creciente importancia recientemente al empezar a ser conscientes los técnicos de la necesidad de ahorrar energía. En consecuencia, se desea obtener equipos óptimos, no sólo en función de un análisis térmico y rendimiento económico de lo invertido, sino también en función del aprovechamiento energético del sistema.

Un cambiador de calor consiste en un límite sólido, buen conductor, que separa dos fluidos que se intercambian energía por transmisión de calor.

Hay numerosas razones para usar un intercambiador de calor, entre las cuales se resaltan:

- Calentar un fluido frío por medio de otro con mayor temperatura.
- Disminuir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición un fluido mediante otro con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de otro frío.
- Llevar al punto de ebullición un fluido mientras se condensa otro gaseoso con mayor temperatura.

4.5.1 Tipologías intercambiadores de calor

La clasificación más común es la que se realiza según la trayectoria de los fluidos.

De acuerdo con la trayectoria que tienen los fluidos que intervienen en el proceso los equipos los intercambiadores pueden clasificarse en: intercambiadores de flujo en paralelo, intercambiadores de flujo en contracorriente, intercambiadores de flujo cruzado de un solo paso o intercambiadores de flujo cruzado de pasos múltiples. Los más comunes son los dos primeros:

- Flujo en paralelo: En esta distribución los fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo de la unidad, fluyen a través de ella en la misma dirección y salen por el otro extremo. La diferencia de temperatura es grande al principio, pero decae rápidamente al aumentar la distancia. Es importante señalar que, para tal intercambiador, la temperatura de salida del fluido frío nunca excede la del fluido caliente.

- Flujo en contracorriente: Distribución en la que los fluidos entran por extremos opuestos de la unidad y fluyen en direcciones opuestas. En contraste con el intercambiador de flujo paralelo, esta configuración hace que haya transferencia de calor entre las partes más calientes de los dos fluidos en un extremo, así como entre las partes más frías en el otro. El cambio en la diferencia de temperaturas a lo largo de la longitud del intercambiador es ostensiblemente menor que cuando el flujo es paralelo. La temperatura de salida del fluido frío puede exceder ahora la temperatura de salida del fluido caliente.
- Flujo cruzado de un solo paso: Distribución en donde un fluido dentro de la unidad circula perpendicularmente a la trayectoria del otro.
- Flujo cruzado de pasos múltiples: En esta distribución un fluido se desplaza transversalmente en forma alternativa con respecto a la otra corriente del fluido.

Por otro lado, una clasificación también muy importante es cuando se definen por las características de construcción de estos:

- Intercambiadores de calor tubular: Este intercambiador es generalmente construido por tubos circulares, elípticos, rectangulares, redondos y planas. Existe una considerable flexibilidad en el diseño, porque la geometría puede variar fácilmente cambiando el tubo de diámetro, posición y longitud. Este intercambiador de calor es diseñado para presiones relativamente altas. Se utilizan principalmente líquido-líquido y líquidos con cambios de fase (condensación y evaporación). Se utilizan para gas-líquido y gas-gas en las aplicaciones de transferencia de calor en las que la temperatura y presión de funcionamiento son muy altas.



Figura 4-11. Intercambiador tubular

- Intercambiadores de calor de placas: consisten en una estructura con placas metálicas generalmente corrugadas y montadas a presión, que forman el área necesaria para la transferencia de calor, con orificios de acuerdo con la disposición de flujo. Estos intercambiadores no pueden soportar altas presiones ni temperaturas.

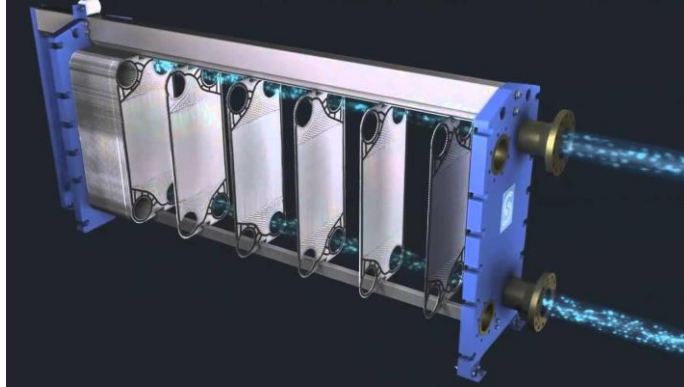


Figura 4-12. Intercambiador de placas

- Intercambiadores de calor de carcasa y tubos: Los intercambiadores de calor de tipo carcasa y tubos son aquellos en los cuales ocurre transferencia de calor entre dos corrientes fluidas que no se mezclan o que no tienen contacto entre sí. Las corrientes de fluido que están involucradas en esa forma están separadas entre sí por una pared de tubo, o por cualquier otra superficie, la cual forma el camino de transferencia del calor. Este intercambiador es construido para evitar fugas, por facilidad de limpieza, y para controlar más fácilmente la corrosión.

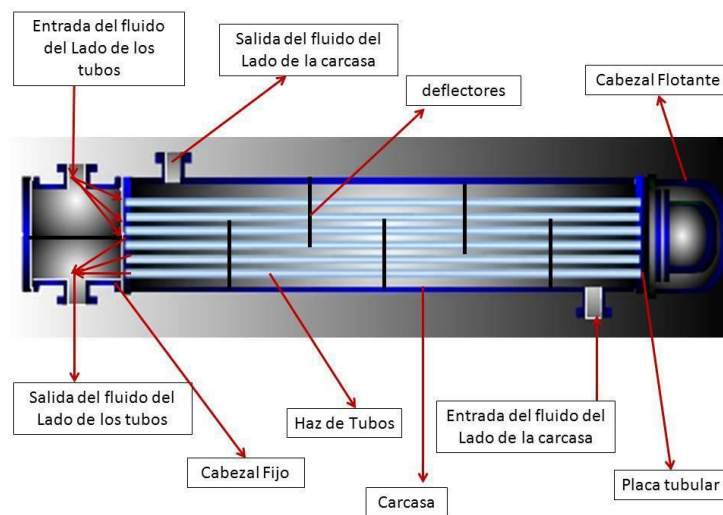


Figura 4-13. Intercambiador de carcasa y tubos

- Intercambiador de calor tipo tubo espiral: Este intercambiador consiste en una o más bobinas en forma de espiral colocadas dentro de un depósito. La tasa de transferencia de calor asociada con un tubo en espiral es mayor que la de un tubo recto. La desventaja de este intercambiador es la limpieza de este.

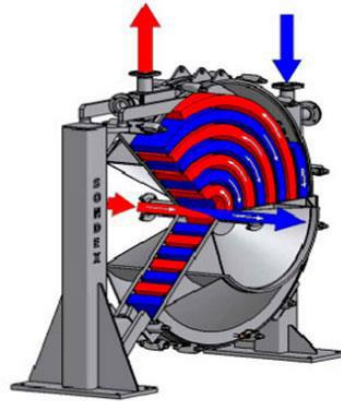


Figura 4-14. Intercambiador de tubo espiral

4.6 Circuito hidráulico y bombas de circulación

4.6.1 Tuberías de circulación

En los sistemas energéticos de ingeniería las tuberías son las arterias que conectan cada elemento de la instalación y transportan el fluido a los puntos necesario de la misma.

Los sistemas de tuberías han ido cobrando importancia en los últimos años, y su evolución ha consistido principalmente en el estudio de nuevos materiales para las tuberías. A principios de siglo la mayor parte de las tuberías instaladas eran de hierro fundido. Sin embargo, las tuberías de materiales como el plástico han ido teniendo mayor importancia. Por otra parte, las de aleación de acero son utilizadas en aplicaciones a alta presión ya que permiten una eficiencia térmica bastante alta.

El diseño de la instalación de una tubería debe realizarse para que sea lo más económica posible teniendo en cuenta los siguientes criterios generales:

- Producir la mínima pérdida de carga posible en la red.
- Poder soportar tanto las presiones como las temperaturas de servicio que se alcancen.
- Materiales resistentes a la corrosión y compatibles con el fluido que se utilice en el circuito de la instalación.
- Fiabilidad, seguridad, fabricabilidad y durabilidad

Un aspecto muy importante que debe tenerse en cuenta para el diseño del sistema de tuberías es el de la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las conducciones. Dicha velocidad, en el caso de la circulación isoterma de fluidos incompresibles, viene determinada por el caudal y el diámetro de la sección interna de la conducción, y para cada fluido tiene un valor máximo que no debe ser sobrepasado, ya que de lo contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. Los valores aproximados que se usan en la práctica dependen del tipo de

fluido que se trate.

El rozamiento de un fluido con las paredes de la tubería por la que circula provoca en el mismo una caída de presión. Conocer el valor de esta caída de presión es necesario de cara al cálculo de las bombas, pero también para comprobar que el diámetro elegido para la conducción es suficiente, pues de ser éste muy pequeño la pérdida de carga que se produzca será muy elevada.

Se legisla que la superficie de las tuberías no debe superar los 50°C, por ello se deben aislar todas aquellas por las que circule un fluido a una temperatura superior de esta última.

4.6.2 Bombas de circulación

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos.

El fundamento del funcionamiento de las bombas está relacionado según el principio de Bernoulli. Ya que, al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura y esto produce el movimiento del fluido.

En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Las bombas de circulación son imprescindibles en cualquier tipo de instalación en la que sea necesario el transporte de un líquido, ya que su función es la de la impulsión de los fluidos presentes en la instalación.

En cualquier caso, es necesaria la incorporación de una válvula anti-retorno a la entrada de la bomba para así evitar que el fluido retroceda. También es necesario un filtro que evite la entrada de impurezas sólidas dentro de la bomba y pueda ocasionar grandes inconvenientes.

Para la correcta selección de una bomba se deben de considerar los siguientes parámetros:

- Naturaleza del líquido por bombear.
- Capacidad requerida, es decir, el flujo volumétrico que hay que transportar.
- Condiciones del lado de succión y de descarga de la bomba.
- Tipo de sistema donde la bomba impulsa fluido.
- Tipo de fuente de potencia.
- Limitaciones de espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costo de adquisición, instalación y operación.
- Carga total sobre la bomba.

Existen una gran variedad de bombas en el mercado, en la instalación que nos compete se han elegido bombas centrífugas ya que son las más comunes en el mercado.

Las bombas centrífugas tienen un motor que se conecta a la red eléctrica, y por tanto, es un elemento que consume energía.

4.7 Regulación y control

4.7.1 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos que se utilizan para controlar, retener o regular cualquier fluido entubado. Esto lo hace al variar el caudal del fluido de control, que modifica a su vez el valor de la variable controlada, al comportarse como un orificio de área variable.

Las válvulas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. Válvulas de todo o nada: Lo único que pueden hacer es permitir o impedir el paso del fluido por la tubería. Pero, en ningún caso, son capaces de regular el caudal. Son dispositivos que bloquean por completo la sección del tubo cuando se encuentran cerradas. Sin embargo, una vez abiertas ofrecen la mínima resistencia al paso del fluido al ser las pérdidas de carga bastante reducidas. Las más empleadas son las válvulas de bola y de mariposa.
2. Válvulas de regulación: Estas aumentan o disminuyen el grado de apertura y entonces el caudal que circula por la misma se ve aumentado o reducido. En este caso el recorrido del obturador ha de ser lo más lento posible para permitir diferentes caudales, esto también hace que las pérdidas de carga sean mayores que en el otro caso. Las más empleadas son las válvulas de asiento.

En la instalación planteada se va a utilizar el primer tipo de válvulas descrito.

4.7.2 Mezcladores de caudal

El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan al azar entre sí.

Los mezcladores estáticos son dispositivos que son utilizados para operaciones continuas. Estos logran un rendimiento predecible a través una serie de caídas de presión definidas. Pueden lograr un alto grado de homogeneidad en una corta longitud de tubería.

Estos son una solución práctica, económica y eficiente para la mezcla conveniente de fluidos mientras son bombeados. El fluido se mueve a través del mezclador estático en línea, creando un flujo continuo y homogéneo con baja caída de presión.

Los mezcladores estáticos tienen las siguientes características:

- Diseñados para soportar grandes cambios de presión.
- Tienen pequeños diámetros.
- Fáciles de instalar.
- Posibilidad de acoplamiento bridado o roscado.
- Con elemento mezclador fijo o removible de acuerdo con la necesidad.
- Virtualmente libres de mantenimiento.
- Previenen el sobremezclado, el submezclado y el ensuciamiento de tuberías.
- Aseguran un producto final homogéneo.

Su funcionamiento es el siguiente:

La bomba empuja el líquido dentro del mezclador, a continuación, el flujo es cortado y forzado a

dirigirse contra las paredes opuestas de la tubería. Entonces un vórtice es creado axialmente en la línea central de la tubería y este es cortado de nuevo ocurriendo de nuevo el proceso, pero en rotación contraria. Los cambios de rotación aseguran un producto final homogéneo. En la Figura 4-15 se puede observar cada etapa del funcionamiento de un mezclador estático.



Figura 4-15. Funcionamiento de mezcladores estáticos. Fuente: *Handbook of Industrial Mixing*

4.7.3 Divisores de caudal

Un divisor de caudal está constituido por dos o más elementos modulares a engranajes que se encuentran conectados mecánicamente por un árbol interior que los hace rotar a igual velocidad.

Los divisores de caudal permiten dividir el caudal de una bomba en múltiples salidas con caudal proporcional al desplazamiento volumétrico del cuerpo correspondiente. De esta manera, de un modo sencillo y eficiente se consigue un caudal en cada cuerpo independientemente de la presión de trabajo de cada línea.

En la Figura 4-16 se puede observar una imagen de un divisor de flujo hidráulico y el esquema por el que es representado.

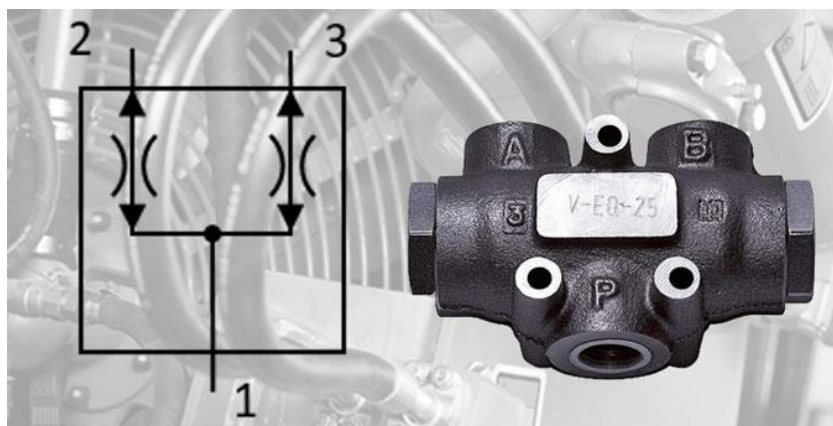


Figura 4-16. Divisor de flujo hidráulico proporcional tipo carrete. Fuente: *Vivoil*

5 TRNSYS

En este apartado se realiza una explicación detallada de los diferentes elementos que se encuentran en la instalación del Proyecto, así como algunas alternativas de diseño que podrían considerarse.

5.1 TRNSYS

TRNSYS, TRaNsient SYstem Simulation, es un programa de simulación de sistemas en régimen transitorio con una estructura modular. El hecho de que tenga esta naturaleza modular le da una gran flexibilidad y facilita la adición de elementos que no están incluidos en la librería estándar que proporciona.

TRNSYS se adapta bien al análisis de sistemas cuyo comportamiento depende del paso del tiempo, y esto le convierte en un software muy adecuado para el diseño, la optimización, y el análisis detallado de cualquier sistema dependiente del paso del tiempo. Es usado por ingenieros e investigadores de todo el mundo para validar nuevos desarrollos energéticos, el cual permite la implementación de estrategias de control y sistemas alternativos de energía como eólica, solar, fotovoltaica, etc.

Ha sido el Solar Energy Laboratory (SEL) de la Universidad de Wisconsin-Madison el lugar en el que se ha desarrollado TRNSYS. Sin embargo, este se ha visto mejorado gracias a contribuciones de otros centros científicos como TRANSSOLAR Energietechnik GMBH, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) y Thermal Energy Systems Specialists (TESS).

TRNSYS consta de un conjunto de programas, TRNSYS Simulation Studio, el motor de cálculo (TRNDll.dll) y su ejecutable (TRNExe.exe), la interfaz visual para los datos de entrada de un edificio (TRNBuild.exe), y el editor utilizado para crear programas redistribuibles y autónomos conocidos como aplicaciones TRNSED (TRNEdit.exe).

Desde la primera aparición del programa en 1975 han aparecido multitud de nuevas versiones, en este proyecto se utiliza la versión 17 que es la que se nos ha proporcionado, con la licencia correspondiente. Sin embargo, la versión más actual es la 18.0. TRNSYS fue originalmente desarrollado para estudiar sistemas de energía solar. Sin embargo, con el tiempo se ha convertido en una potente herramienta de investigación en ingeniería que permite resolver sistemas muy amplios.

La estructura del programa es modular, de manera que reconoce la descripción del sistema en la que el usuario especifica los componentes que lo constituyen (con sus parámetros correspondientes) así como las conexiones entre ellos. La interfaz gráfica de TRNSYS, Simulation Studio, permite la construcción de los sistemas de manera sencilla. Cada componente es una caja negra que tiene implementado el modelo matemático con una serie de entradas, salidas y parámetros que lo caracterizan. Contiene una librería de los componentes comúnmente encontrados en sistemas de energía térmica y eléctrica, así como una serie de rutinas que permiten introducir ciertas funciones adicionales.

5.1.1 Simulación modular

Los sistemas que pueden realizarse se definen como un conjunto de componentes, interconectados de tal forma que cumplan con una tarea específica. Por ejemplo, un sistema de calentamiento solar de

agua típico puede constar de un colector solar, una unidad de almacenamiento de energía, una unidad de calentamiento auxiliar, una bomba y varios sensores de temperatura de control. Una característica obvia de este sistema es su modularidad, dado que este sistema consiste en componentes, es posible simular el comportamiento del sistema simulando de forma conjunta el comportamiento de los componentes interconectados.

El comportamiento de un componente dentro de un sistema va a depender normalmente de parámetros característicos fijos, del comportamiento (salidas) de otros componentes y de funciones dependientes del tiempo. Por ejemplo, para determinar el comportamiento transitorio de un sistema de calentamiento solar de agua se necesitan conocer datos meteorológicos (pe. radiación solar, temperatura ambiente, etc.) y también datos de demanda de agua caliente en función del tiempo.

La técnica de simulación modular reduce en gran medida la complejidad de la simulación de sistema, porque en esencia lo que se hace es reducir un problema grande a cierto número de problemas más pequeños, cada uno de los cuales es más fácil de resolver de forma independiente. Además, muchos componentes son comunes a diferentes sistemas y, por tanto, si el comportamiento de cada uno de estos componentes se describe de una forma general, pueden usarse en muchos sistemas diferentes con pequeñas modificaciones o incluso sin modificación alguna. Esta característica hace la simulación modular más atractiva. A continuación, se muestra el esquema de modelo en TRNSYS.

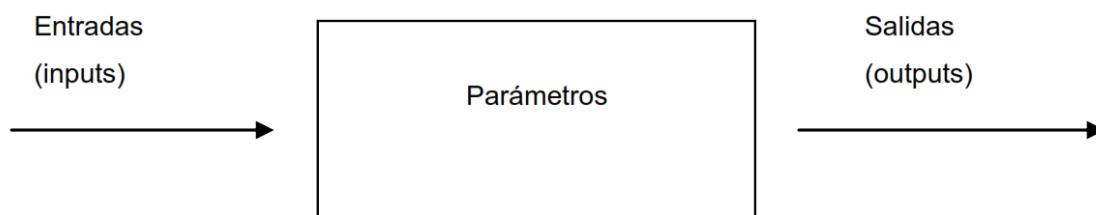


Figura 5-1. Estructura programación modular

Un proyecto TRNSYS típicamente se realiza conectando gráficamente componentes en Simulation Studio. Cada componente "Type" se describe con un modelo matemático en el motor de simulación de TRNSYS y tiene asociada una Proforma en Simulation Studio. La proforma tiene una descripción del componente tipo caja negra con entradas (input), salidas (output), parámetros (parameters), etc.

5.1.2 Interfaz gráfica: TRNSYS Simulation Studio

La interfaz gráfica de TRNSYS es Simulation Studio. Desde aquí se pueden crear proyectos arrastrando y soltando componentes al espacio de trabajo, conectándolos y fijando los parámetros tanto de los componentes como los parámetros globales de la simulación. Simulation Studio guarda la información en un archivo denominado Trnsys Project File (*.tpf). Cuando se ejecuta la simulación, también se crea un TRNSYS input file (*.dck), que es un archivo de texto que contiene toda la información del proyecto, pero sin la información gráfica. Simulation Studio también permite integrar, escribir o dibujar las variables de simulación que permitan posteriormente analizar lo que ocurrió durante la simulación, también se pueden realizar muchas tareas adicionales, como generar proyectos que utilizan el "asistente para nuevo proyecto", o generar un esqueleto para nuevos componentes utilizando el asistente para Fortran, ver y editar los componentes proformas (una proforma es la de descripción de entradas/salidas y parámetros de cada componente), ver archivos de salida, etc. A continuación, se muestra el aspecto de TRNSYS Simulation Studio.

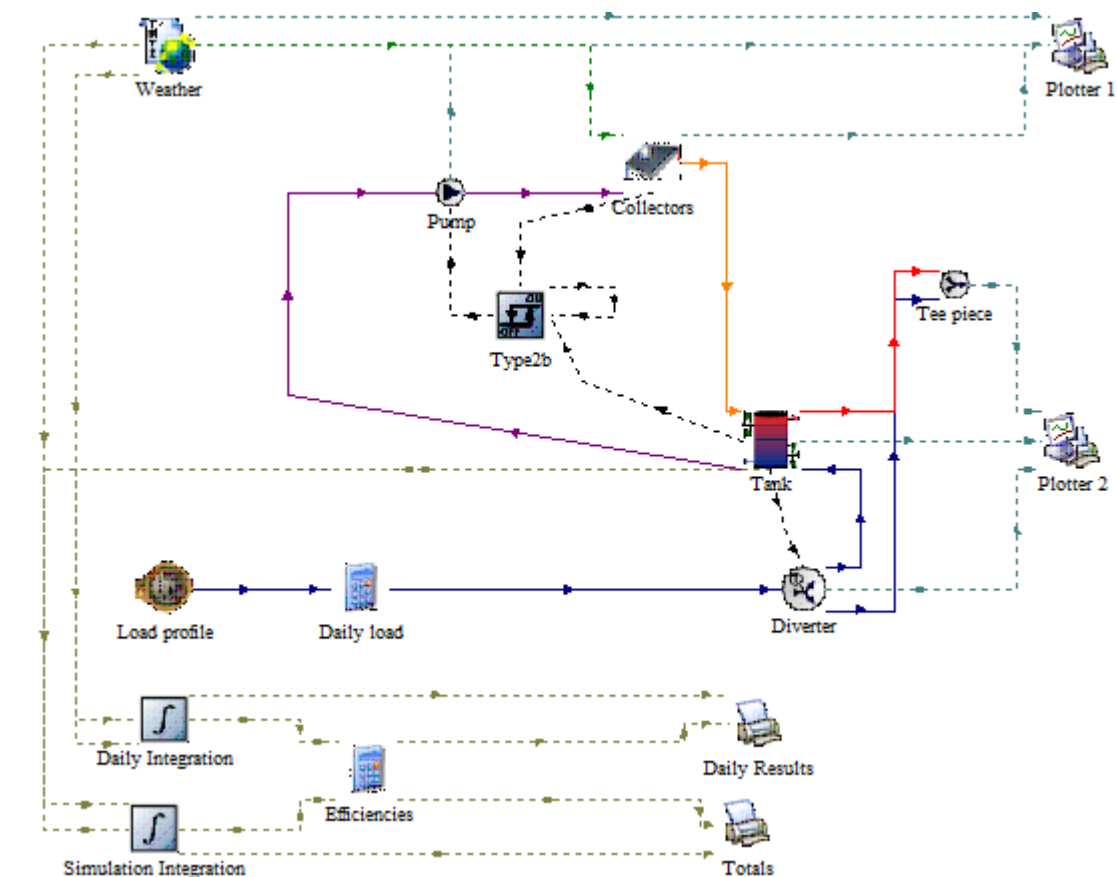


Figura 5-2. Ejemplo TRNSYS SimulationStudio. Fuente: TRNSYS

5.1.3 Motor de simulación: TRNSYS Simulation Engine

El motor de cálculo de TRNSYS es programado en Fortran y es compilado en una “Windows 35 Dynamic Link Library (DLL)”, denominada TRNDll. El núcleo de TRNSYS lee toda la información del proyecto a simular del archivo de entrada a TRNSYS (*.dck), y también abre adicionalmente archivos de entrada (p.ej. de archivos climáticos) y crea archivos de salida. El motor de cálculo es llamado por un programa ejecutable, TRNExe.exe, el cual adicionalmente también se encarga de implementar la representación gráfica online de resultados, que es una herramienta muy útil para ver muchas de las variables de salida durante la simulación. A continuación, se muestran imágenes representativas del funcionamiento de TRNSYS.

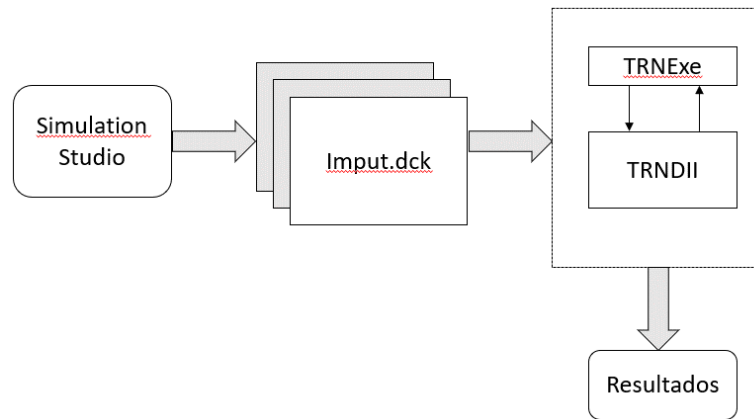


Figura 5-3. Esquema de funcionamiento de TRNSYS. Fuente: *Elaboración propia*

Y la imagen que sigue representa el modelo ejemplo que trae TRNSYS de representación gráfica de TRNExe.exe.

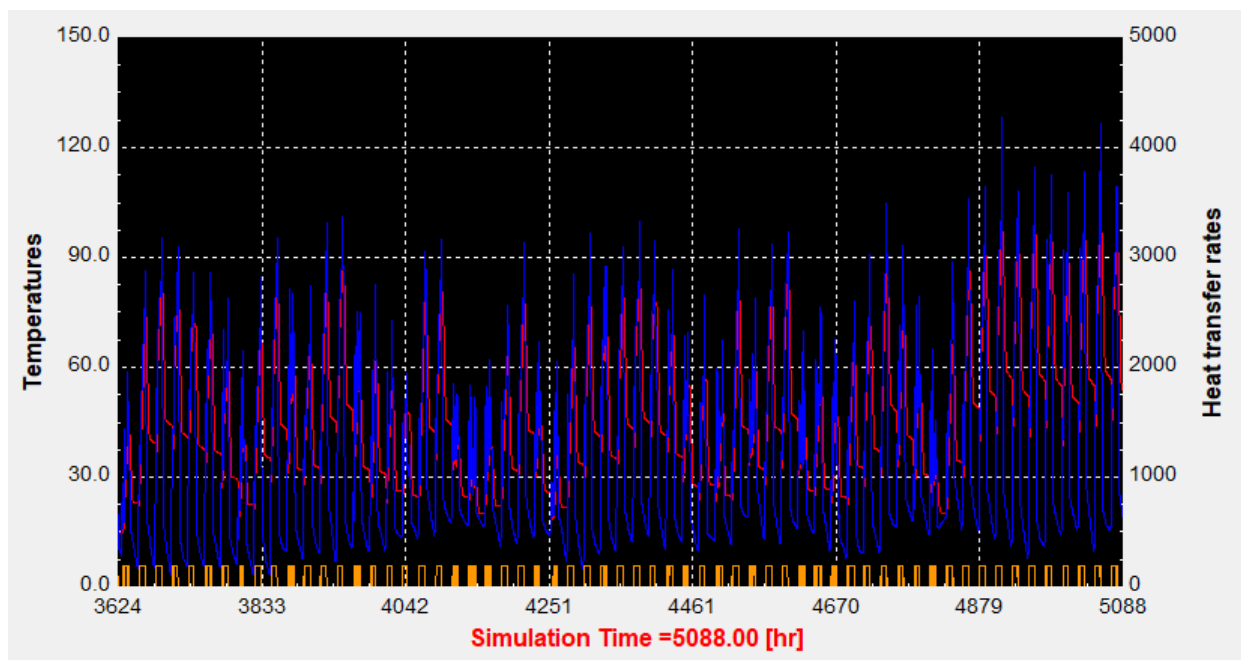


Figura 5-4. Ejemplo de representación gráfica en TRNSYS. Fuente: *TRNSYS*

5.1.4 Interfaz gráfica para definir edificios

TRNBuild es una herramienta muy útil para introducir los datos de entrada de edificios multizona. Permite especificar la estructura del edificio con detalle, así como todo lo necesario para simular el comportamiento térmico del mismo, como propiedades ópticas de ventanas, perfiles de calefacción y refrigeración, etc. TRNBuild crea una descripción del edificio (*.bui) que incluye toda la información necesaria para la simulación de este. Como este no es el objetivo del proyecto realizado, no se ha utilizado esta función. Pero esto demuestra la gran variedad de funciones que se le puede dar a TRNSYS.

6 DISEÑO EN TRNSYS

6.1 Introducción

Para realizar un análisis exhaustivo del edificio objeto es adecuada una simulación simultánea (acoplado el sistema y el edificio) y utilizar pasos de tiempo en la simulación suficientemente pequeños para acercar los resultados de simulación al comportamiento real.

Las razones de la utilización de TRNSYS en este proyecto han sido fundamentalmente:

- Integra componentes de todos los elementos que conforman el sistema: intercambiadores, depósitos de acumulación, bombas, válvulas, controles, etc.
- La interfaz gráfica e intuitiva facilita su uso, permitiendo una construcción modular del sistema a través de los componentes que lo forman.
- Posibilidad de customizar parámetros.
- La variedad de componentes orientados al análisis de los resultados permite estandarizar la metodología para la comparación entre casos.

6.3 Esquema

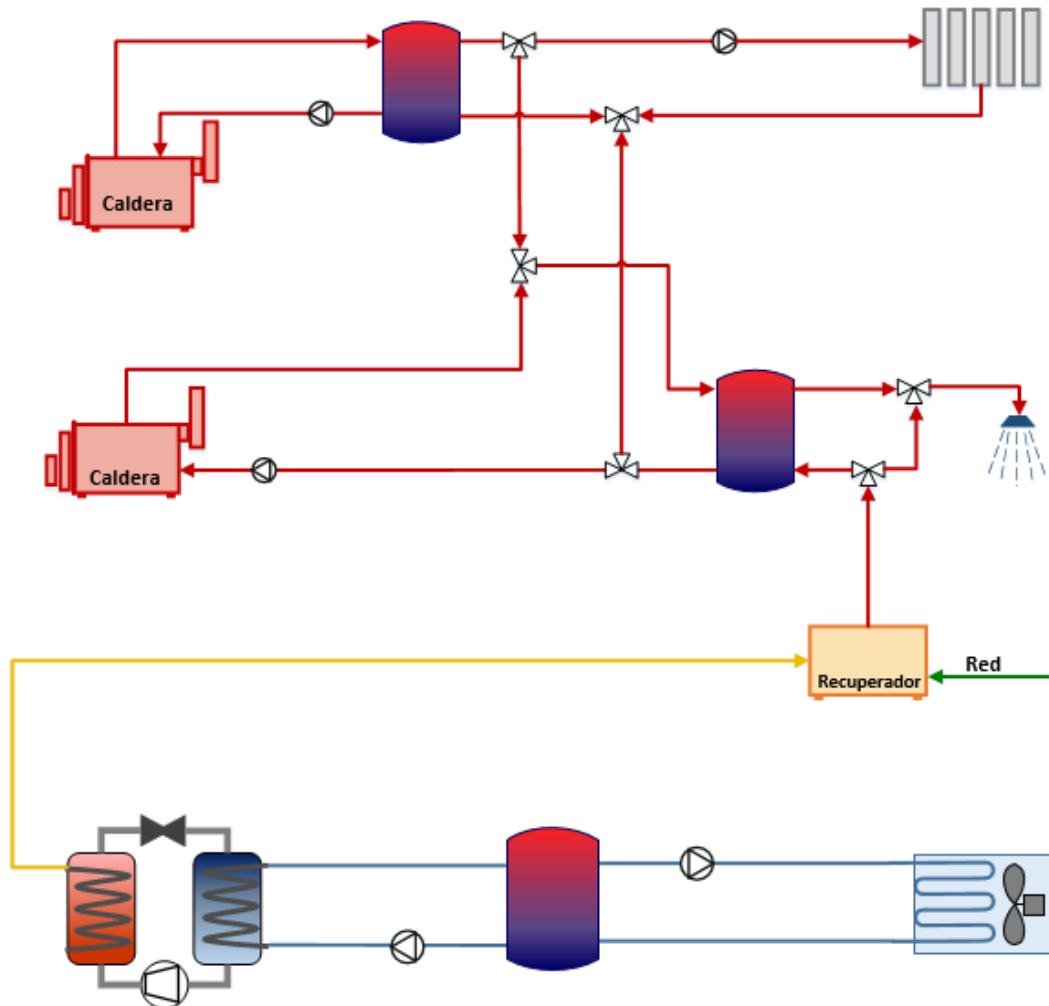


Figura 6-2. Esquema de la instalación. Fuente: Dpto Termotecnia, US

6.4 Diagrama de flujo

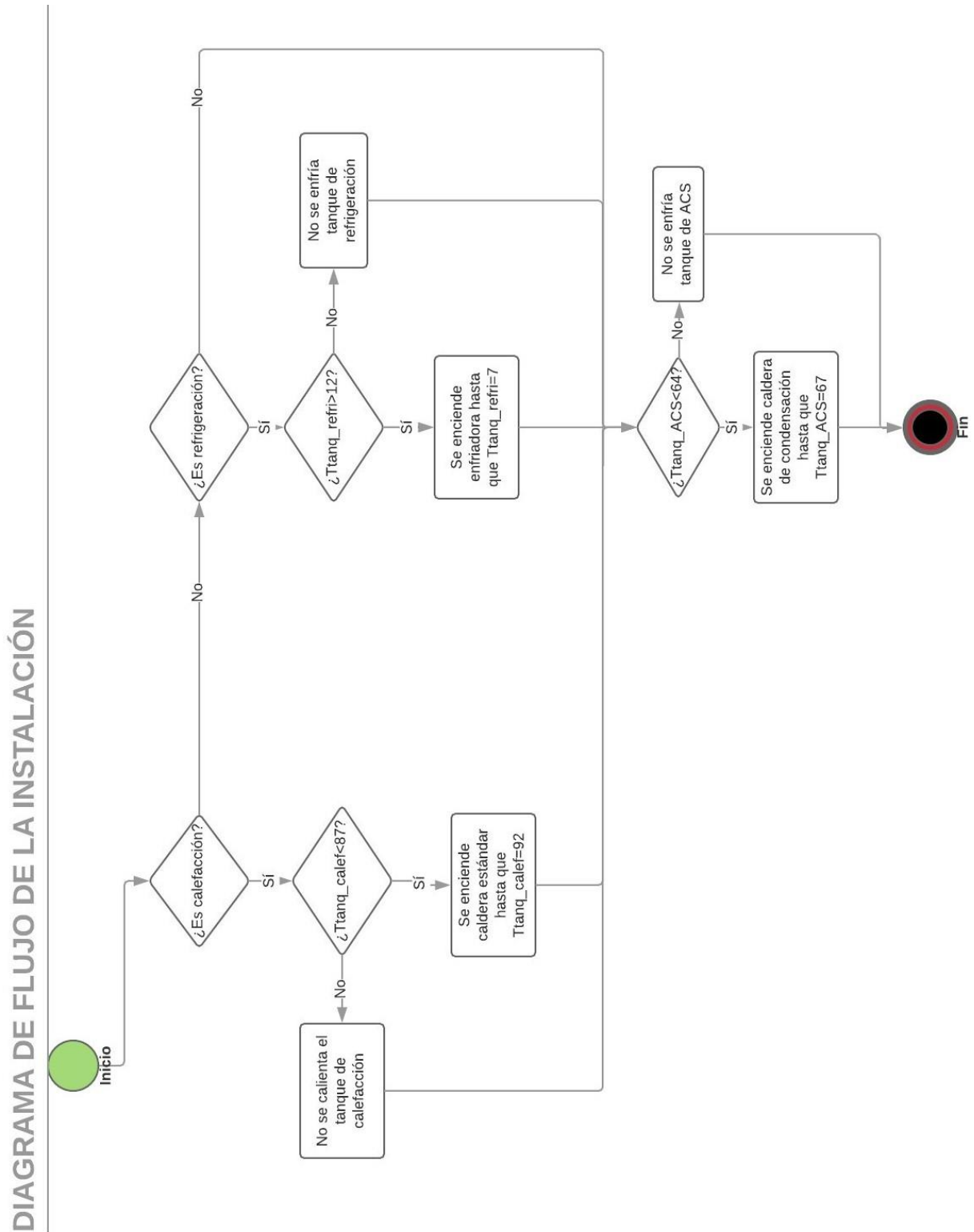


Figura 6-3. Diagrama de flujo de la instalación. Fuente: Elaboración propia

6.5 Implementación de equipos en TRNSYS

6.5.1 Introducción

La parte de calefacción va a ser cubierta por la caldera convencional completamente. Es la caldera de condensación la que va a abastecer al edificio con agua caliente sanitaria, aunque también se utilizará un intercambiador desde el bus de alta hasta el de media por si fuera necesario emplearlo en el calentamiento del tanque de ACS. Una enfriadora con recuperación de calor va a cubrir la demanda de refrigeración. Gracias a esta recuperación de calor, el agua de red se va a precalentar antes de ir hacia la demanda de ACS.

Es necesaria una primera configuración para las simulaciones que se harán.

Estos parámetros se varían en Assembly\Control Cards:

Control Cards	Project	Component Order	
1	Simulation start time	0 hr	More...
2	Simulation stop time	8760 hr	More...
3	Simulation time step	0.166666 hr	More...
4	Solution method	<input checked="" type="radio"/> Successive <input type="radio"/> Powell's me	More...
5	The minimum relaxation factor	1 -	More...
6	The maximum relaxation factor	1 -	More...
7	Equation solver	0 -	More...
8	Equation trace	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	More...
Control Cards Project Component Order			
10	Tolerance integration	0.05 dimensionless	More...
11	Tolerance convergence	0.05 dimensionless	More...
12	Tolerance values	<input checked="" type="radio"/> Relatives <input type="radio"/> Absolutes	More...
13	Before 'WARNING'	30 -	More...
14	Before 'ERROR'	30 -	More...
15	Before 'TRACE'	30 -	More...
16	Diff. equation algorithm	1 -	More...
17	Number of characters	80 dimensionless	More...
18	List card	<input checked="" type="radio"/> LIST	More...

Figura 6-4. Parámetros básicos para simular en TRNSYS

Los parámetros que más van a variar nuestro modelo y que, por lo tanto, es muy importante modificar son tanto “Simulation time step”, el cual se ha asignado como diezminutal, así como los valores de convergencia, esto es, “tolerance integration” y “tolerance convergence”. A estas últimas

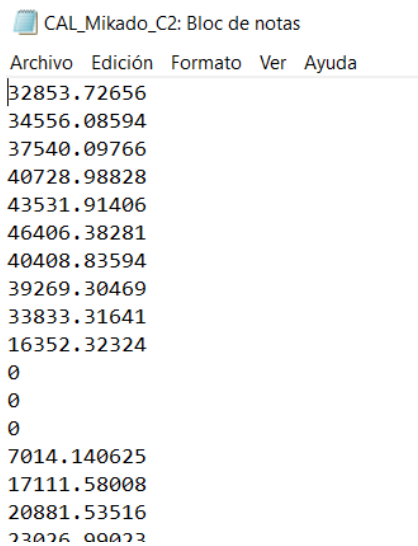
variables se les ha dado un valor de 0.05.

Para la correcta simulación del proyecto en TRNSYS se necesitan parámetros reales de los equipos de la instalación. Por ello se va a explicar brevemente de dónde se han obtenido estos y para qué serán utilizados.

6.5.2 Caldera estándar

Esta caldera será empleada para el sistema de calefacción del edificio principalmente. Además, si fuera necesario se empleará un intercambiador de calor que ayude a mantener la temperatura deseada en el tanque de ACS.

Esta caldera se va a dimensionar con la máxima potencia demandada de calefacción, la cual es 119902.88 W, obtenida del archivo .txt de demanda de calefacción proporcionado. Se diseña en TRNSYS con un valor de 120000 W.



```
CAL_Mikado_C2: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
32853.72656
34556.08594
37540.09766
40728.98828
43531.91406
46406.38281
40408.83594
39269.30469
33833.31641
16352.32324
0
0
0
7014.140625
17111.58008
20881.53516
72076.00072
```

Figura 6-5. Formato archivo demanda de calefacción

TRNSYS consta de types que simulan calderas. Sin embargo, para poder simular de forma correcta la caldera con todas las especificaciones que tiene el equipo elegido es necesario implementarlo de forma independiente en una calculadora.

En esta se definen las ecuaciones que van a modelar la caldera, como se muestra en la Figura 6-6.

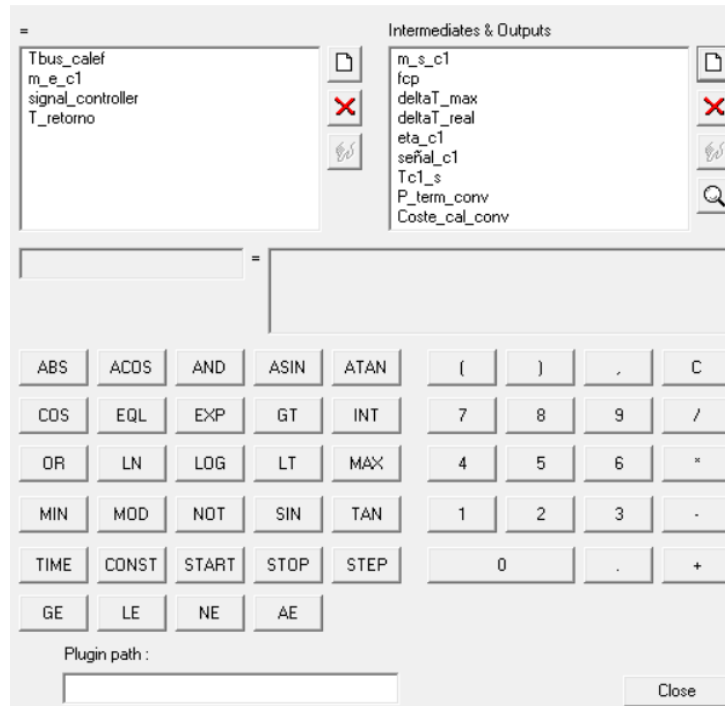


Figura 6-6. Modelo de caldera convencional

Otra calculadora que es necesaria incorporar a la instalación es la de modelado de un radiador. Este radiador actúa de medio de transferencia de calor para abastecer al hotel de la calefacción demandada. En este equipo, el radiador, se obtiene la temperatura del agua de retorno al depósito de calefacción, es decir, la de salida del radiador. Esta temperatura de salida viene determinada por un balance energético que va a depender de la demanda de calefacción que haya en ese tramo horario.

Sería una pérdida de energía mantener el depósito de acumulación de calefacción a la temperatura deseada durante todo el año, incluso cuando existen largos periodos de demanda nula. Por ello se ha considerado que cuando no exista demanda la caldera se pare y el tanque de calefacción se enfríe. Este valle horario correspondería con el verano.

Para llevar esto a cabo correctamente se va a incorporar en TRNSYS un controlador diferencial de temperaturas con histéresis, el cual se muestra en la Figura 6-7. Parametrización del controlador con histéresis de caldera de condensación, Type 2b.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Upper input temperature Th	92	C	More...		
2	Lower input temperature Tl	87	C	More...		
3	Monitoring temperature Tin	92	C	More...		
4	Input control function	1	-	More...		
5	Upper dead band dT	5	Temp. Difference	More...		
6	Lower dead band dT	0.1	Temp. Difference	More...		

Figura 6-7. Parametrización del controlador con histéresis de caldera de condensación, Type 2b

Para este type es necesario definir las temperaturas superior e inferior a la que debe estar el depósito en las casillas correspondientes.

6.5.3 Bomba y depósito de acumulación para calefacción

La caldera convencional se instalará con un depósito de acumulación de agua que debe permanecer entre 87 y 92°C.

Se establece un rendimiento térmico de la caldera convencional del 92% el cual se va a considerar constante. Para calcular el caudal de agua aproximado que las bombas han de mover es necesario un balance de energía con la ecuación siguiente.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Estableciendo la potencia que suministra la caldera como la explicada en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y teniendo en cuenta que el salto máximo de temperatura que se considera es de 5° C, se puede despejar de la ecuación anterior el caudal aproximado que debe mover la bomba. Se obtiene un resultado de:

$$m_{CAL} = 20603.84 \text{ kg/h}$$

También es necesario estimar el volumen del depósito de acumulación que va a emplearse. Este debe tener un sobredimensionamiento del triple de caudal que se llevaría la instalación cuando existe máxima potencia en 10 minutos de funcionamiento.

$$V_{CAL} = 3 \cdot \frac{m_{CAL}}{1000 \cdot 6}$$

$$V_{CAL} = 10.3 \text{ m}^3$$

6.5.4 Caldera de condensación

La caldera de condensación se va a emplear para la producción de agua caliente sanitaria, la cual se acumulará en su depósito correspondiente que debe estar entre 64 y 67° C.

El rendimiento de esta caldera se establece en función de su factor de carga parcial. Esta expresión se ha obtenido del manual de curvas CALENER-GT Grandes edificios terciarios.

$$\eta_{el\acute{e}ctrico} = \frac{1}{EIR} = \frac{1}{a + b \cdot fcp + c \cdot fcp^2 + d \cdot fcp^3}$$

Siendo:

- $a = 0.350712$
- $b = 0.308054$
- $c = -0.541374$
- $d = 0.871988$

El factor de carga parcial, o fcp, se define como el cociente del salto de temperatura real entre el máximo permitido, que se considera 5° C.

$$fcp = \frac{\Delta T \text{ real}}{\Delta T \text{ máximo}}$$

A diferencia de la caldera estándar, la potencia de esta va a optimizarse para que los costes sean mínimos y la eficiencia máxima. Este estudio se detallará más adelante.

Al igual que con la caldera estándar, la caldera de condensación necesita que se utilice una calculadora para el modelado de un type propio. Las ecuaciones que se han introducido en esta caldera son las que se muestran a continuación.

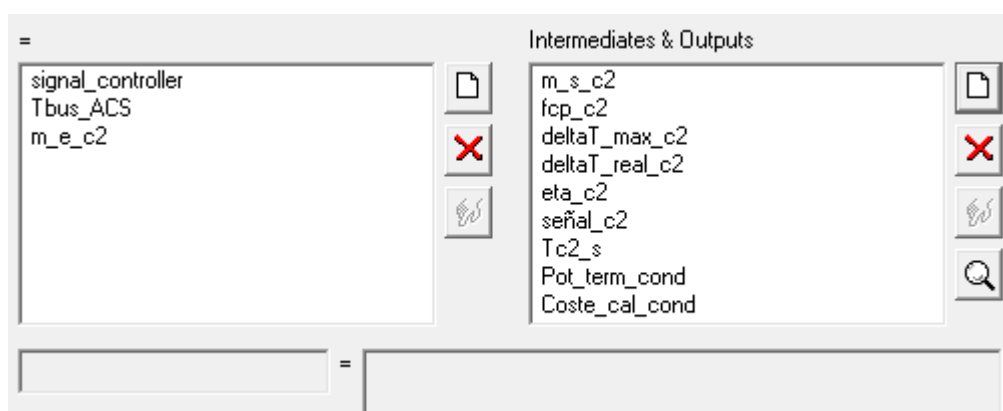


Figura 6-8. Modelo de caldera de condensación

Se necesita incorporar en TRNSYS un controlador diferencial de temperaturas con histéresis ya que

en este caso la bomba de la caldera de condensación tiene prioridad para calentar el tanque de ACS por delante del calentamiento con el intercambiador de calor, ya que este calor proviene de la caldera estándar, la cual tiene una menor eficiencia respecto a la de condensación.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Upper input temperature Th	67	C	More...		
2	Lower input temperature Tl	64	C	More...		
3	Monitoring temperature Tin	67	C	More...		
4	Input control function	1	-	More...		
5	Upper dead band dT	3	Temp. Difference	More...		
6	Lower dead band dT	0.1	Temp. Difference	More...		

Figura 6-9. Parametrización del controlador con histéresis de caldera de condensación, Type 2b

Para que esto se cumpla, a la bomba de la caldera de condensación se le envía una señal para que controle la temperatura del tanque de ACS tal que la caldera de condensación se encienda cuando la temperatura del tanque de condensación baje de 64°C.

De este modo, la instalación lo que debería hacer es usar siempre la caldera de condensación, y si no pudiera, entonces utilizaría el intercambiador que proviene del tanque de calefacción.

6.5.5 Bomba y depósito de acumulación para ACS

La caldera de condensación se va a instalar con un depósito de acumulación de agua que debe permanecer entre 64 y 67°C.

Para calcular el caudal de agua aproximado que las bombas han de mover es necesario conocer la demanda de ACS del edificio. Para ello se sabe que:

- Consumo de agua por persona y día: 55 litros.
- Ocupación media del hotel: 87 personas.
- Perfil de consumo por hora según sea día laborable, sábado o domingo.

Al conocer todos estos datos se puede proceder a calcular la demanda en l/h de ACS para cada hora de cada día de cada mes del año.

Operando, el caudal máximo que debe mover la bomba es de:

$$m_{ACS} = 319 \text{ l/h}$$

También es necesario estimar el volumen del depósito de acumulación que va a emplearse. Este debe tener un sobredimensionamiento del triple de caudal que se llevaría la instalación cuando existe

máxima potencia en 10 minutos de funcionamiento.

$$V_{ACS} = 3 \cdot \frac{m_{CAL}}{1000 \cdot 6}$$

$$V_{ACS} = 0.1595 \text{ m}^3$$

6.5.6 Enfriadora con recuperación

Esta enfriadora será empleada para el sistema de refrigeración del edificio. Sin embargo, al contar con recuperación, se va a emplear el calor generado por la enfriadora en la producción de frío para poder precalentar el agua de red que entra en el tanque de ACS. De esta forma se consigue un importante ahorro energético.

El rendimiento de esta enfriadora se establece en función de su factor de carga parcial y del salto de temperatura. Esta expresión se ha obtenido del manual de curvas CALENER-GT Grandes edificios terciarios.

$$\eta_{el\acute{e}ctrico} = \frac{1}{EIR} = \frac{1}{a + b \cdot fcp + c \cdot fcp^2 + d \cdot \Delta T + e \cdot \Delta T^2 + f \cdot fcp \cdot \Delta T}$$

Siendo:

- $a = 0.023918$
- $b = 0.889469$
- $c = 0.077931$
- $d = -0.00264$
- $e = 0.000007$
- $f = 0.00018$

El factor de carga parcial, o fcp, se define como el cociente del salto de temperatura real entre el máximo permitido, que se considera 5° C.

$$fcp = \frac{\Delta T \text{ real}}{\Delta T \text{ máximo}}$$

Esta enfriadora se va a dimensionar con la máxima potencia demandada de refrigeración, la cual es 123161.4922 W, obtenida del archivo .txt de demanda de refrigeración proporcionado. Se diseña en TRNSYS con un valor de 120000 W.


```

REF_Mikado_C2: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
0
0
26423.8125
24679.41992
25638.62695
30724.04492
41907.07422
58532.75781
56369.89844
40071.93359
18518.52148
8194.033203
4121.183594
0
0
0
0
0
0

```

Figura 6-10. Formato archivo demanda de refrigeración

La recuperación de energía de la enfriadora se va a considerar del 40% sobre el total de la potencia frigorífica que esta proporciona, tomando como límite que la temperatura no llegue a calentarse más de 50°C

TRNSYS también consta de types que simulan equipos generadores de frío. Sin embargo, para poder simular de forma correcta la enfriadora con todas las especificaciones que tiene el equipo elegido de la instalación real es necesario implementarlo de forma independiente en una calculadora.

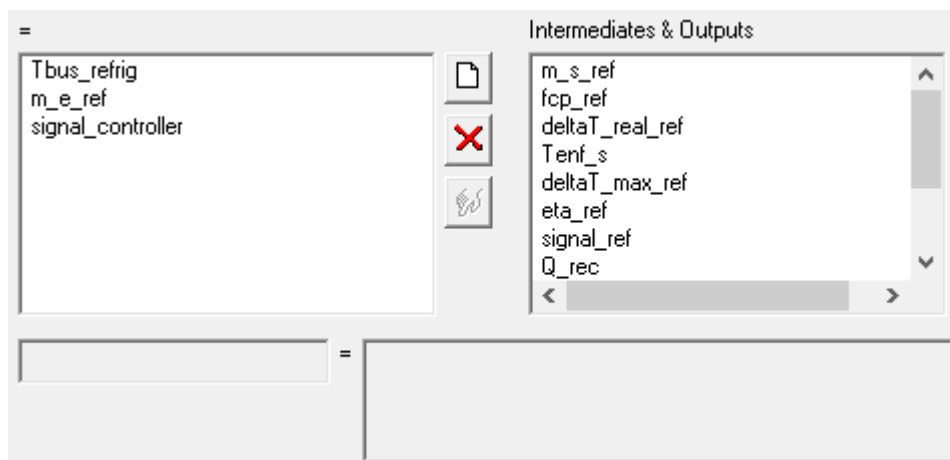


Figura 6-11. Modelo de enfriadora con recuperación

Otra calculadora que es necesaria incorporar a la instalación es la de modelado de un fan-coil. Este actúa de medio de transferencia de frío. En este equipo se obtiene la temperatura del agua de retorno al depósito de agua fría, es decir, la de salida del equipo fan-coil. Esta temperatura de salida viene determinada por un balance energético que va a depender de la demanda de refrigeración que haya en ese tramo horario. Este procedimiento que se ha explicado es análogo al del radiador necesario en la parte de calefacción.

De forma análoga a la calefacción, sería una pérdida de energía mantener el depósito de acumulación de refrigeración a la temperatura deseada durante todo el año, ya que existen largos periodos de demanda nula. Para esto, se le envía a la bomba de la enfriadora una señal, que hace que solo se encienda y enfríe el tanque en las horas que se han definido.

Por otro lado, a la bomba que lleva el agua al fan-coil se le ha dado además la indicación de que se

encienda cuando la temperatura del tanque llegue del límite superior, esto se hace con la siguiente ecuación:

Por ultimo, dado que la enfriadora consta de recuperación de calor, también debe definirse una ecuación que dé la señal al recuperador de intercambiar el calor recuperado de la enfriadora, siempre y cuando esta última esté en funcionamiento.

Para llevar esto a cabo correctamente se va a incorporar en TRNSYS un controlador diferencial de temperaturas con histéresis tal como en los dos casos anteriores referidos a las calderas.

El último equipo que sería necesario implementar con una calculadora es el recuperador. Se muestra a continuación las variables que han sido necesarias definir.

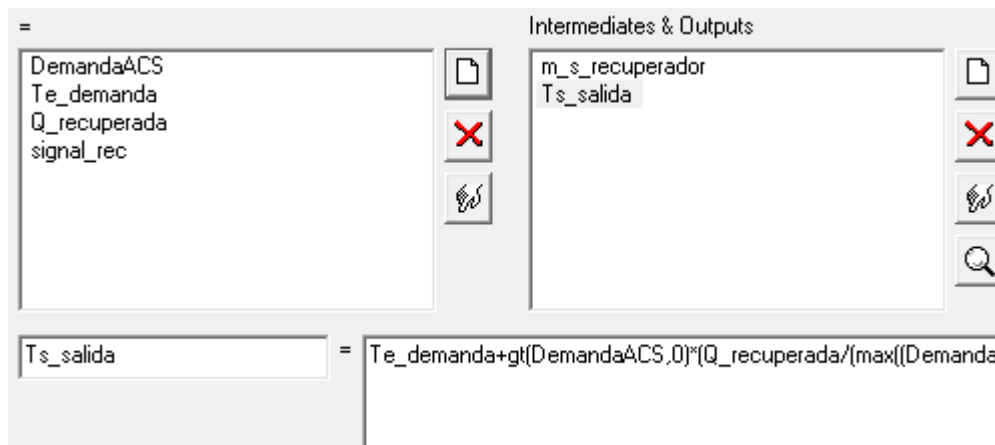


Figura 6-12. Modelo de recuperador de la enfriadora

Gracias a esta recuperación de energía, cuando la enfriadora está encendida, se puede precalentar el agua de red que se va a enviar al depósito de ACS para la reposición del gasto que se va utilizando, siendo entonces menor la potencia que tendría que dar la caldera de condensación, al haber disminuido el salto de temperatura a suministrar.

6.5.7 Bomba y depósito de acumulación para refrigeración

Para calcular el caudal de agua aproximado que las bombas han de mover es necesario un balance de energía con la ecuación siguiente.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Estableciendo la potencia que suministra la caldera como la explicada en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y teniendo en cuenta que el salto máximo de temperatura que se considera es de 5° C, se puede despejar de la ecuación anterior el caudal aproximado que debe mover la bomba. Se obtiene un resultado de:

$$m_{ENF} = 21163.78 \text{ kg/h}$$

También es necesario estimar el volumen del depósito de acumulación que va a emplearse. Este debe tener un sobredimensionamiento del triple de caudal que se llevaría la instalación cuando existe máxima potencia en 10 minutos de funcionamiento.

$$V_{ENF} = 3 \cdot \frac{m_{ENF}}{1000 \cdot 6}$$

$$V_{ENF} = 10.58 \text{ m}^3$$

6.5.8 Acumuladores en TRNSYS

Se han desarrollado y dimensionado anteriormente los tres depósitos de acumulación que van a emplearse en la implementación de la instalación. Se explica a continuación el funcionamiento interno que tiene este en el software y sus fundamentos. En TRNSYS es el type 4: Stratified Fluid Storage Tank y está compuesto por N volúmenes totalmente mezclados, como se observa en la Figura 6-12.

El grado de estratificación de este tanque está marcado por el valor de N. De manera que, si N=1, el tanque de almacenamiento se modela como un tanque totalmente mezclado y sin efectos de estratificación. Dispone de dos calentadores auxiliares internos que son opcionales. El usuario puede especificar la conductancia global para la pérdida de calor cuando el calentador no está en funcionamiento.

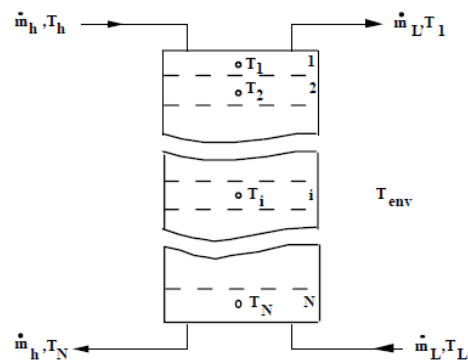


Figura 6-13. Acumulador en TRNSYS. Fuente: TRNSYS

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Simulaciones

7.1.1 Introducción

Se procede en este apartado del Proyecto a la realización de las simulaciones en TRNSYS para la obtención de los resultados numéricos con los que se van a obtener la potencia óptima se cada equiop, el volumen óptimo de todos los depósitos y el coste de cada opción simulada.

Debido a que TRNSYS ofrece una gran cantidad de posibilidades, ya que permite la variación de un gran número de parámetros y configuraciones, se ha optado por la realización de una macro en Excel programada en Visual Basic for Applications (VBA) que hace simulaciones realizando pasadas masivas en TRNSYS y obteniendo los resultados de todas estas. Ello se lleva a cabo a través de llamadas extenas a TRNSYS, cambiando del archivo del modelo los valores de las variables a optimizar.

Se han realizado diferentes combinaciones modificando las variables de optimización, las cuales son, la potencia nominal de la calera de condensación, el volumen del tanque de ACS, la potencia frigorífica de la enfriadora, el volumen del tanque de refrigeración y el volumen del tanque de calefacción.

El máximo número de parámetros que se han modificado en cada simulación ha sido de dos. Y las combinaciones estudiadas han sido las siguientes:

- Modificación del volumen de calefacción dejando el resto de las variables con un valor fijo. Se obtienen 14 simulaciones posibles.
- Modificación de la potencia de la caldera de condensación y el volumen del tanque de ACS dejando el resto de las variables con un valor fijo. Se obtienen 110 simulaciones posibles.
- Modificación de la potencia de la enfriadora y el volumen del tanque de refrigeración dejando el resto de las variables con un valor fijo. Se obtienen 165 simulaciones posibles.

Con esto, se concluye que habrá un total de 289 simulaciones de las que se van a comentar aspectos importantes en los siguientes apartados.

7.2 Resultados

7.2.1 Modificación Calefacción

Se ven en este apartado los casos en los que la variable de optimización es el volumen del tanque de calefacción. Este caso tan solo tiene una variable de optimización debido a que se va a utilizar la caldera convencional actual de la que consta la instalación, por lo tanto, no podemos estudiar otras alternativas en las que la potencia nominal sea diferente a la que se tiene en el edificio actual. Las

alternativas obtenidas son las siguientes:

Nombre de la variable	Potencia nominal caldera de condensacion (W)	Volumen tanque ACS (m ³)	Potencia enfriadora (W)	Volumen tanque refrigeración (m ³)	Volumen tanque de calefacción (m ³)
Alternativas	12000	3	120000	5	5
	12000	3	120000	5	6
	12000	3	120000	5	7
	12000	3	120000	5	8
	12000	3	120000	5	9
	12000	3	120000	5	10
	12000	3	120000	5	11
	12000	3	120000	5	12
	12000	3	120000	5	13
	12000	3	120000	5	14
	12000	3	120000	5	15
	12000	3	120000	5	16
	12000	3	120000	5	17
	12000	3	120000	5	18

Tabla 5. Alternativas calefacción. Fuente: Elaboración propia

Se va a representar cómo varían las horas que no se cubren de calefacción en función del volumen del tanque de calefacción. En la Figura 7-1 se observa que cuando aumenta el volumen del tanque de calefacción las horas no cubiertas aumentan. Aunque el número de horas que no se cubre la demanda sean despreciables, es interesante intentar entender por qué ocurre lo citado.

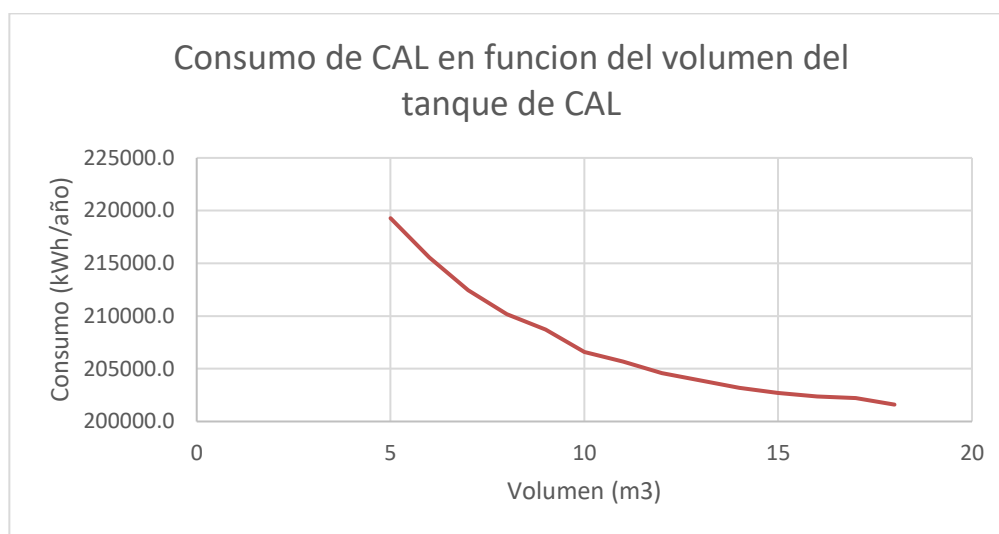


Figura 7-3. Consumo de calefacción frente al volumen del tanque de calefacción. *Fuente: Elaboración propia*

Se observa que conforme el volumen aumenta, el consumo de la caldera estándar disminuye. Esto puede ser porque al tener un volumen grande de acumulación, la caldera podrá trabajar más tiempo a carga parcial y consumiendo menos, o incluso estar apagada.

Sin embargo, cuando el volumen es pequeño, si hay una gran demanda todo el volumen es llevado por el caudal hacia los radiadores y debe trabajar la caldera a carga total para poder calentar lo más rápido posible el tanque de acumulación de nuevo.

7.2.2 Modificación ACS

Se estudian en este apartado los casos en los que las variables de optimización son el volumen del tanque de ACS y la potencia nominal de la caldera de condensación. Las alternativas son las siguientes:

Nombre de la variable	Potencia nominal caldera de condensación (W)	Volumen tanque ACS (m³)	Potencia enfriadora (W)	Volumen tanque refrigeración (m³)	Volumen tanque de calefacción (m³)
Alternativas	6000	1	120000	10	5
	7000	2	120000	10	5
	8000	3	120000	10	5
	9000	4	120000	10	5
	10000	5	120000	10	5

11000	8	120000	10	5
12000	10	120000	10	5
13000	12	120000	10	5
14000	15	120000	10	5
15000	20	120000	10	5
20000		120000	10	5

Tabla 6. Alternativas ACS. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-4 se representan las horas no cubiertas de ACS en función de la potencia nominal de la caldera de condensación para cada posible volumen del tanque de ACS.

En el caso de volúmenes de depósito muy pequeños como 1 o 2 m³, aún teniendo grandes potencias nominales, queda un número considerable de horas sin que se cubra la demanda exigida. Esto ocurre debido a que, al encontrarse una demanda de ACS alta en un corto periodo de tiempo, el caudal de la bomba se lleva el agua que contiene el depósito por completo y hace que no pueda cubrirse la demanda hasta que este vuelva a recuperar la temperatura correspondiente.

También se observa que, en todos los casos, cuando la potencia nominal de la caldera es muy pequeña, véase 6000 o 7000 W, las horas que esta no es capaz de cubrir la demanda de ACS es bastante alta. Sin embargo, a partir de potencias de 8000 o 9000 W la caldera ya es capaz de cubrir por completo la demanda de ACS.

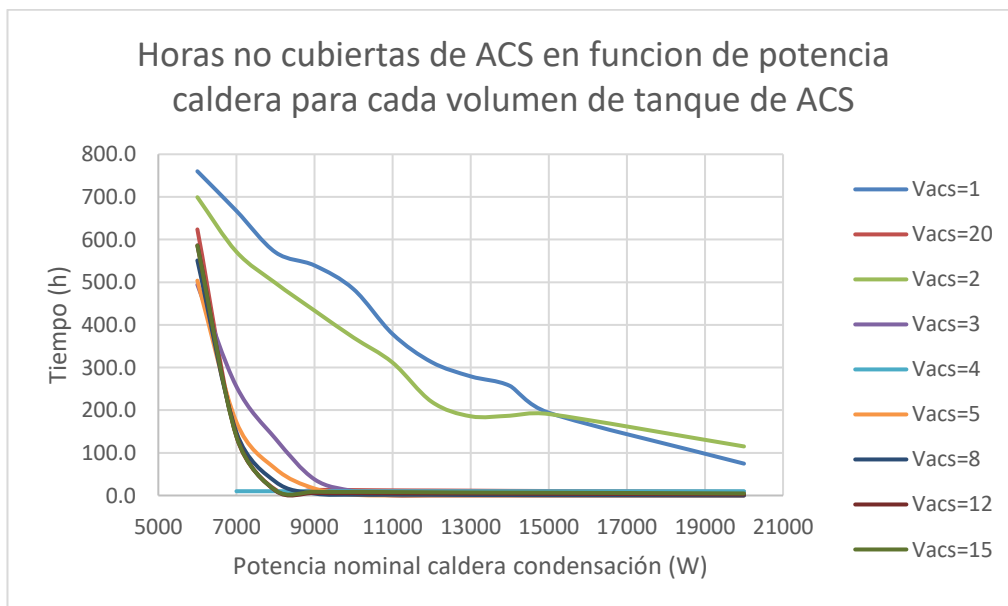


Figura 7-4. Horas no cubiertas de ACS según el volumen del tanque de ACS y la potencia nominal de la caldera de condensación. Fuente: Elaboración propia

La siguiente gráfica que se va a representar es la variación del consumo de la caldera de condensación frente a la potencia nominal que tiene la caldera de condensación, y además para cada volumen con el que se han realizado las simulaciones.

Se ve que, para volúmenes pequeños, de 1 m³ y de 2 m³, el consumo anual será bastante mayor respecto al resto. Sin embargo, una vez que se aumenta más el volumen del tanque, el consumo es el mismo en todos los casos, dependiendo entonces únicamente de la potencia nominal de la caldera.

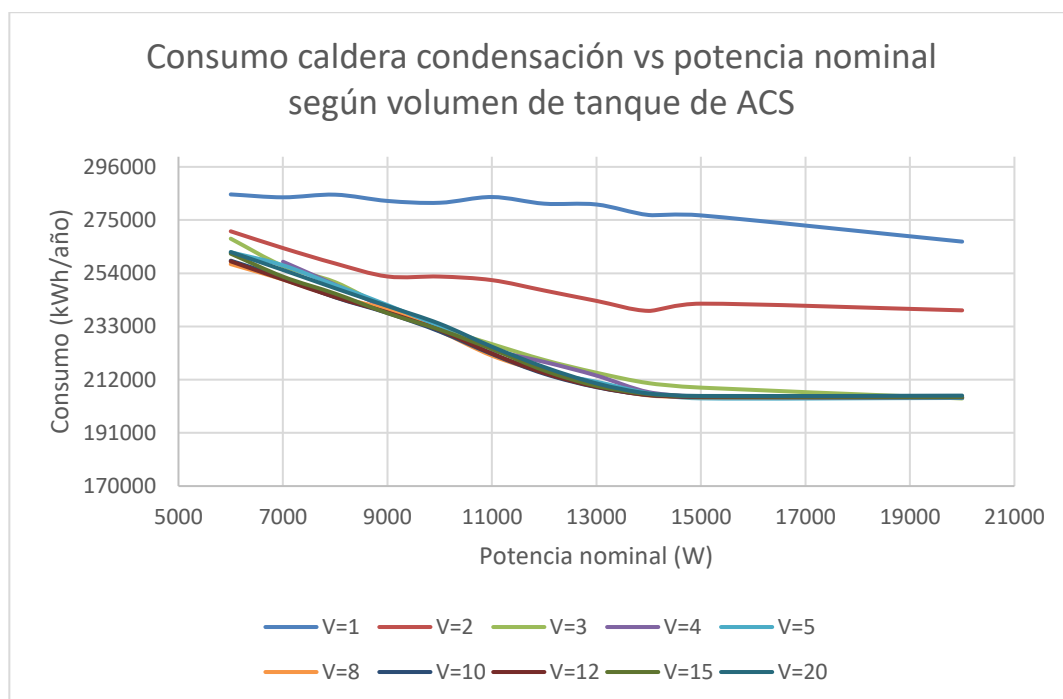


Figura 7-5. Consumo caldera condensación frente a potencia nominal para cada volumen. Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Modificación Refrigeración

En este apartado se van a estudiar los casos en los que las variables de optimización son el volumen del tanque de refrigeración y la potencia nominal de la enfriadora con recuperación. Para ello se simulan todas las alternativas posibles, las cuales son las siguientes:

Nombre de la variable	Potencia nominal caldera de condensación (W)	Volumen tanque ACS (m ³)	Potencia enfriadora (W)	Volumen tanque refrigeración (m ³)	Volumen tanque de calefacción (m ³)
Alternativas	12000	3	10000	5	5
	12000	3	20000	6	5
	12000	3	40000	7	5
	12000	3	60000	8	5

12000	3	70000	9	5
12000	3	80000	10	5
12000	3	90000	11	5
12000	3	100000	12	5
12000	3	110000	13	5
12000	3	120000	14	5
12000	3	130000	15	5
12000	3	140000		5
12000	3	150000		5

Tabla 7. Alternativas refrigeración. *Fuente: Elaboración propia*

En la Figura 7-6 se representan las horas no cubiertas de refrigeración en función de la potencia nominal de la enfriadora para cada volumen del tanque de refrigeración.

En este caso, es llamativo que no importa el tamaño del volumen del tanque de refrigeración, las horas no cubiertas siguen el mismo patrón para todos los casos.

El número de horas no cubiertas tan solo dependen de la potencia nominal de la enfriadora. Cuando la potencia nominal de esta es más pequeña, véase menor de 70000 W, las horas que esta no es capaz de cubrir la demanda de refrigeración es bastante alta y por ello sería inadmisibles su uso. Sin embargo, a partir de potencias de 80000 W la enfriadora ya es capaz de cubrir prácticamente por completo la demanda de refrigeración del edificio.

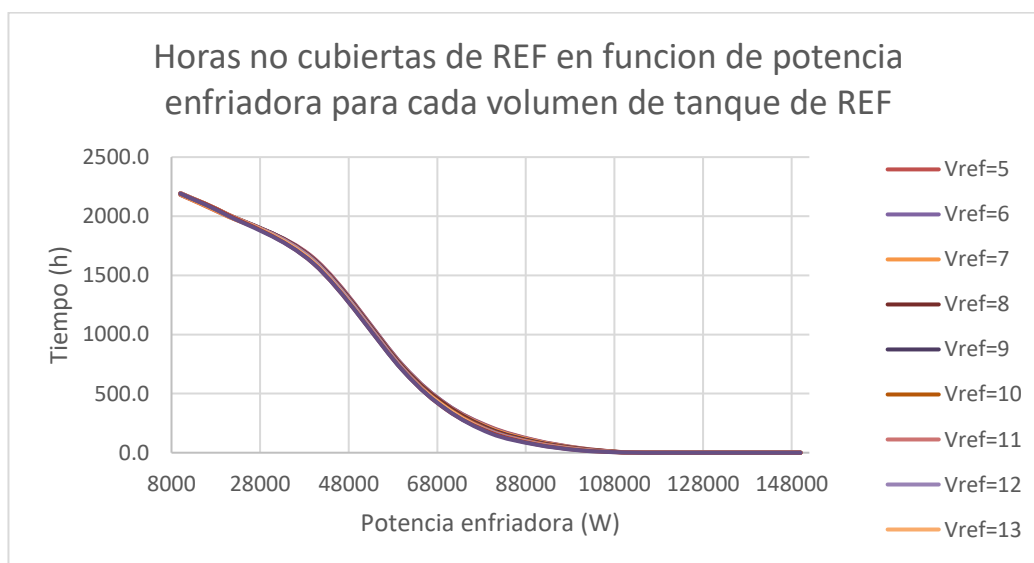


Figura 7-6. Horas no cubiertas de refrigeración según el volumen del tanque de refrigeración y la potencia nominal de la enfriadora. *Fuente: Elaboración propia*

La siguiente gráfica que se va a representar es la variación del consumo de la enfriadora frente a la potencia nominal que tiene esta y además para cada volumen con el que se han realizado las simulaciones.

En este caso vuelve a ocurrir lo mismo que en la representación anterior, que el consumo no va a depender en ningún caso del volumen del depósito de acumulación, sino tan solo de la potencia nominal de la enfriadora.

Se observa que, para potencia bajas, el consumo aumenta de forma más o menos lineal, hasta llegar a un punto de inflexión, que es la potencia nominal de 40000 W, a partir de la cual el consumo anual permanece prácticamente constante sin importar qué potencia o qué volumen se esté utilizando.

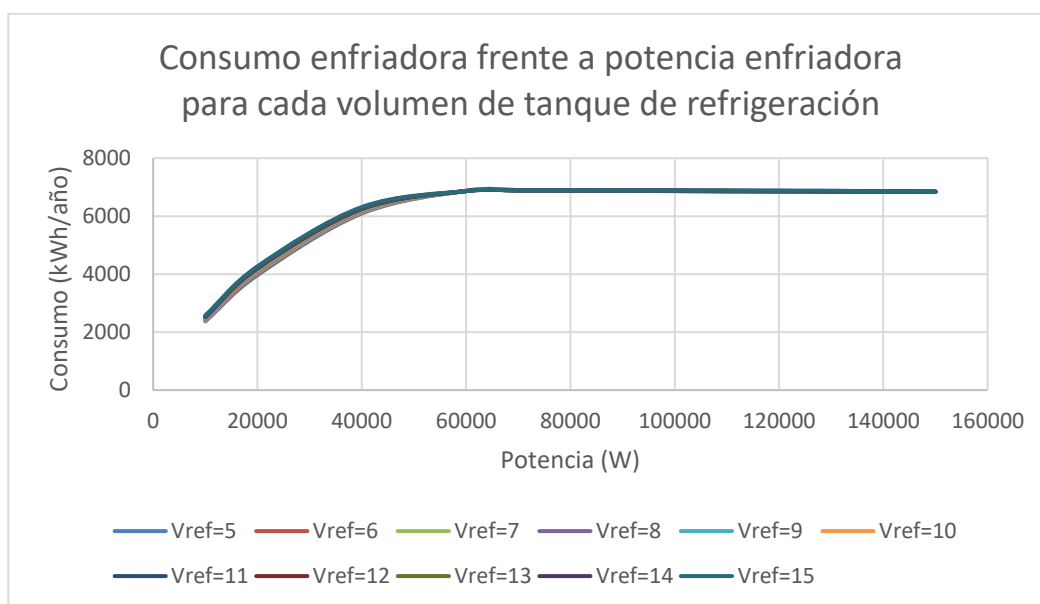


Figura 7-7. Consumo de refrigeración frente a potencia nominal de enfriadora para cada volumen.

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Análisis del coste del ciclo de vida

7.2.5 Simulación óptima regulada por la normativa

A la hora de analizar qué solución es la óptima y, por tanto, qué simulación será la que se implementará en un futuro en este hotel, no sólo se debe buscar aquella opción que minimice el coste de la instalación completa, si no que la instalación debe cumplir las exigencias que se contemplan en el marco regulatorio.

Por ello no debe buscarse una solución óptima económica que cumpla con los requisitos exigidos por el demandante. Este óptimo se debe ajustar a la normativa actual según el CTE-HE0 por la que se limita el consumo de energía primaria total. Este documento recoge en la tabla 3.2.b el “Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso distinto del residencial privado”

El consumo energético de los edificios se limitará en función de la zona climática de invierno de su localidad de ubicación, el uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, el alcance de la intervención. El consumo energético se satisfará, en gran medida, mediante el uso de energía

procedente de fuentes renovables.

En este proyecto, el consumo de energía primaria total de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite obtenido en la “Tabla 3.2.b-HE0. Valor límite del consumo de energía primaria total en kWh(año·m²) para uso distinto del residencial privado” del Proyecto del Real Decreto del CTE de 2018.

El presente proyecto tiene un nivel de carga interna baja, ya que es menor de 6W/m². La zona climática del hotel corresponde con la C. Por ello, el valor límite de consumo de energía primaria total será 175 kWh(año·m²).

Para el cálculo de la energía primaria se ha empleado un factor conversor del gas natural de 1.1 y un factor de 2.5 para la electricidad

- Consumo de energía primaria total.

En esta primera representación se han estudiado todos los casos, es decir, se ha obtenido el coste del ciclo de vida de cada instalación simulada y el consumo de energía primaria correspondiente.

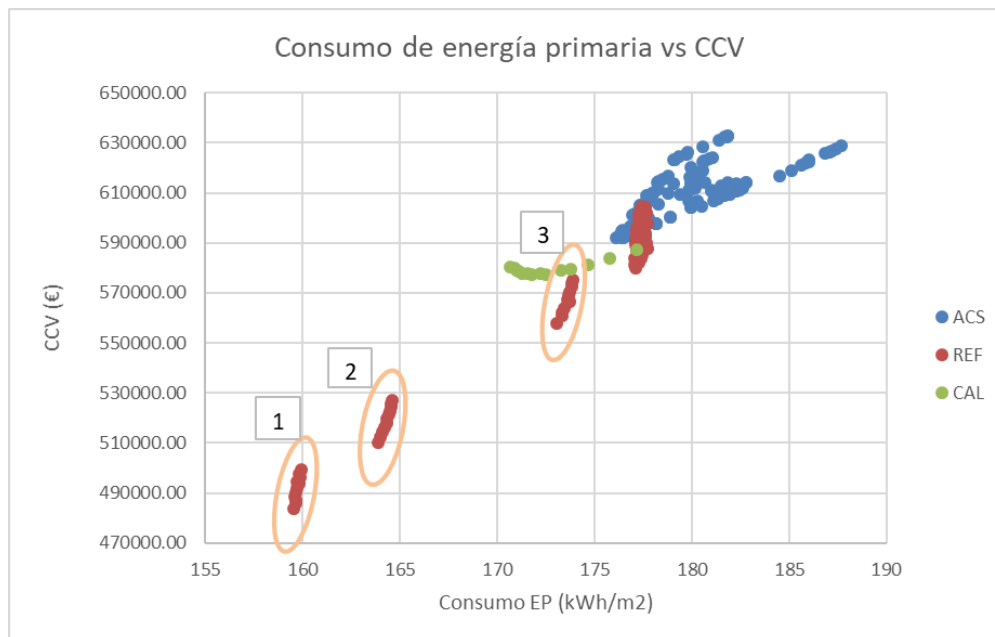


Figura 7-8. Consumo de energía primaria. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-8 se ven varias zonas diferenciadas. En primer lugar, según el color las variables de optimización son las que se explicaron en este apartado anteriormente. Luego hay otras zonas que están más diferenciadas y corresponden con diferentes valores de potencias.

Los valores correspondientes al grupo 1 corresponden a potencias de enfriadoras de 10kW, que son las de menor potencia que se han estudiado. Por otro lado, los del grupo 2 corresponderían a potencias de enfriadoras de 20 kW. Y, por último, el grupo 3 a las de 40 kW. El resto de las potencias estarían todas agrupadas sin más diferencia.

- Consumo de energía primaria total cubriendo la demanda.

Es necesario analizar ahora los resultados de filtrar todas las simulaciones y obtener sólo aquellas que cubren por completo la demanda, pues si no la cubrieran las instalaciones no nos interesarían.

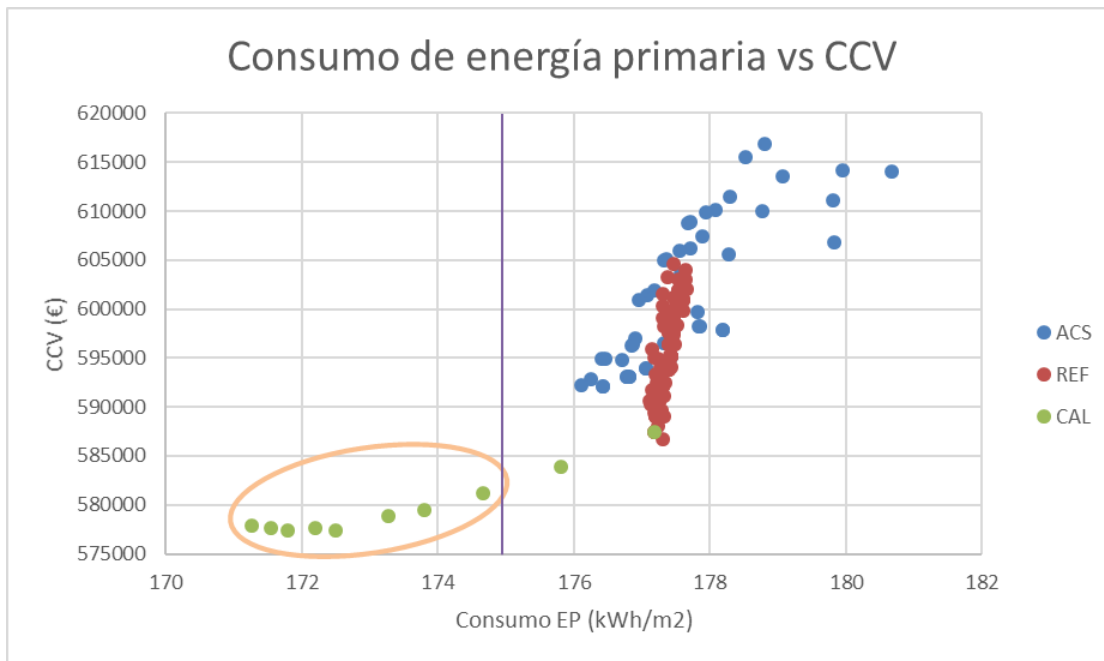


Figura 7-9. Consumo energía primaria demanda cubierta. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-9 se puede ver la importancia de haber eliminado los casos en los que no se cubría la demanda, ya que al ser aquellos con equipos de menor potencia, tenían un menor CCV y podría haber llevado a confusión si no se hubiera hecho este filtro.

En el grupo marcado se señalan aquellos casos en los que, además de cubrirse la demanda, se cumple el reglamento que, en el caso que nos concierne, toma un valor límite de 175 kWh/m².

De estos habría que seleccionar el de menor CCV, el cual correspondería al siguiente dimensionado de equipos:

Potencia caldera de condensación (W)	Volumen tanque ACS (m ³)	Potencia enfriadora (W)	Volumen tanque refrigeración (m ³)	Volumen tanque de calefacción (m ³)
12000	3	120000	5	10

- Consumo de energía primaria excluyendo iluminación.

Una gran parte de la energía primaria que se consume corresponde a la iluminación del edificio, por ello se ha considerado interesante la realización de la siguiente gráfica en la que se muestra la disminución del consumo de energía primaria.

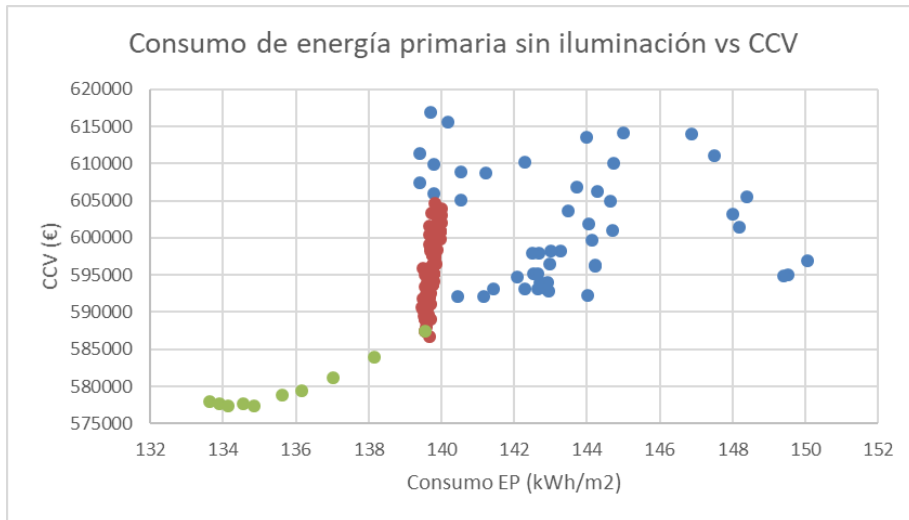


Figura 7-10. Consumo de energía primaria excluyendo iluminación. *Fuente: Elaboración propia*

7.2.6 ¿Qué aporta el recuperador de calor de la enfriadora?

Este precalentador estaría aprovechando la energía residual de la producción de frío en la enfriadora para calentar el agua de red antes de enviarla a la línea de ACS, lo cual reduciría el consumo de la caldera de condensación, al tener que dar al agua un menor incremento de temperatura para llegar a los 64° C necesarios.

Se van a representar las temperaturas del tanque de ACS tanto en invierno como en verano, de forma que se observe cómo evolucionan estas en función de si está funcionando la enfriadora (verano) o si está parada (invierno).

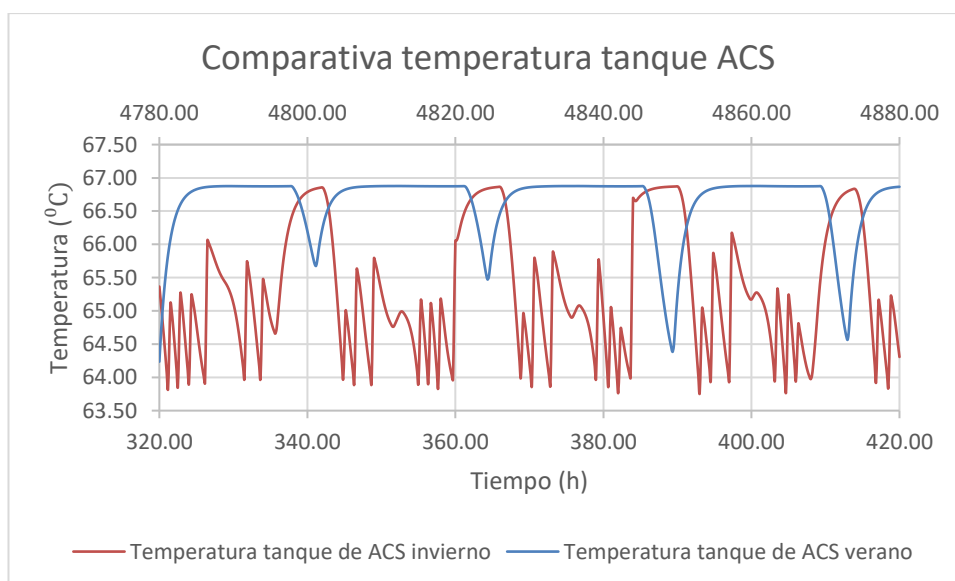


Figura 7-11. Comparación temperatura tanque de ACS en verano e invierno. *Fuente: Elaboración propia*

Como era de esperar, en invierno la temperatura del tanque de ACS sufre más oscilaciones debido a que no tiene el apoyo del recuperador que le proporciona la enfriadora, mientras que en el caso de verano la temperatura del tanque sufre menos variaciones y se mantiene mejor entre los límites.

7.2.7 ¿Qué aporta el intercambiador desde el bus de alta al de media temperatura?

Este intercambiador funciona cuando la caldera de condensación no tiene la potencia suficiente como para aportar la temperatura necesaria para el agua caliente sanitaria.

Se va a representar un caso en el que la potencia de condensación sea pequeña, frente a una simulación en la que esta potencia sea mayor y pueda abastecerse sola para el suministro de ACS.

Para ello se va a elegir por un lado la simulación que tiene como potencia nominal de condensación 6000 W y por otro, aquella que tiene 12000W, dejando el resto de las variables constantes con los siguientes valores:

- Potencia nominal de refrigeración: 120000 W
- Volumen de calefacción: 5 m³
- Volumen de ACS: 3 m³
- Volumen de refrigeración: 10 m³

En esta imagen, la Figura 7-12 se representan las temperaturas del tanque de ACS y del tanque de calefacción, así como las horas que no se cubre la demanda de ACS, que corresponden con las horas que la caldera de calefacción está apagada y, por tanto, no se puede aportar energía térmica al tanque de ACS a través del intercambiador.

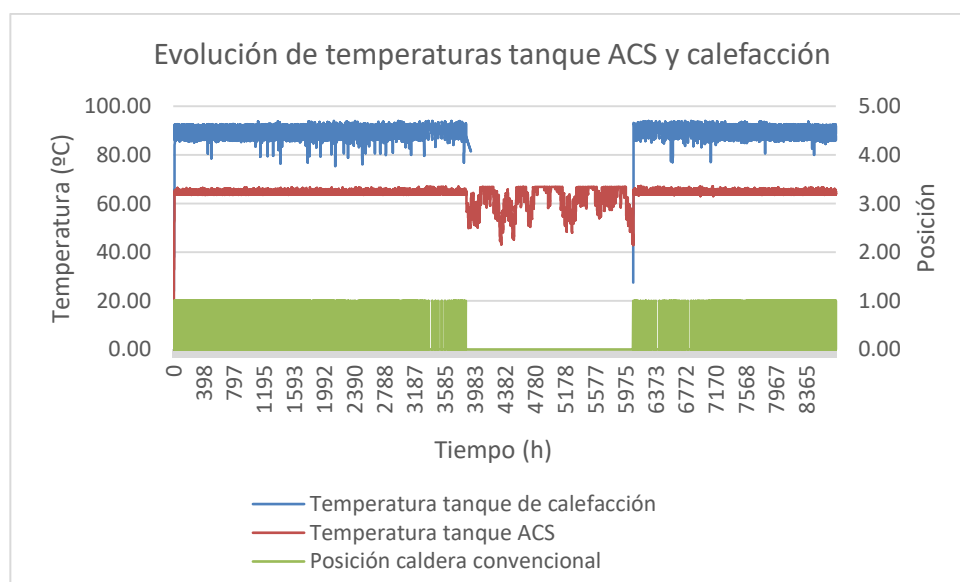


Figura 7-12. Aporte del intercambiador (6000W). Fuente: Elaboración propia

Mientras que, en la siguiente representación se ve claramente como la caldera de condensación puede dar toda la demanda necesaria sin necesitar un aporte extra a través del intercambiador de calor de la caldera convencional.

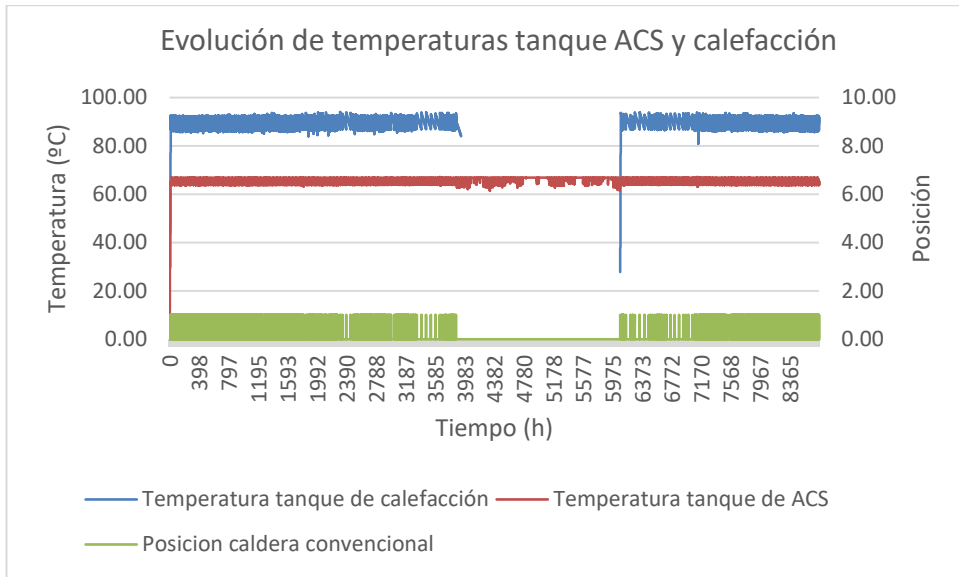


Figura 7-13. Aporte del intercambiador (12000W). Fuente: Elaboración propia

Otra variable interesante que se puede estudiar en estos dos casos es el consumo que tiene la caldera convencional para las dos potencias de caldera de condensación consideradas en este caso.

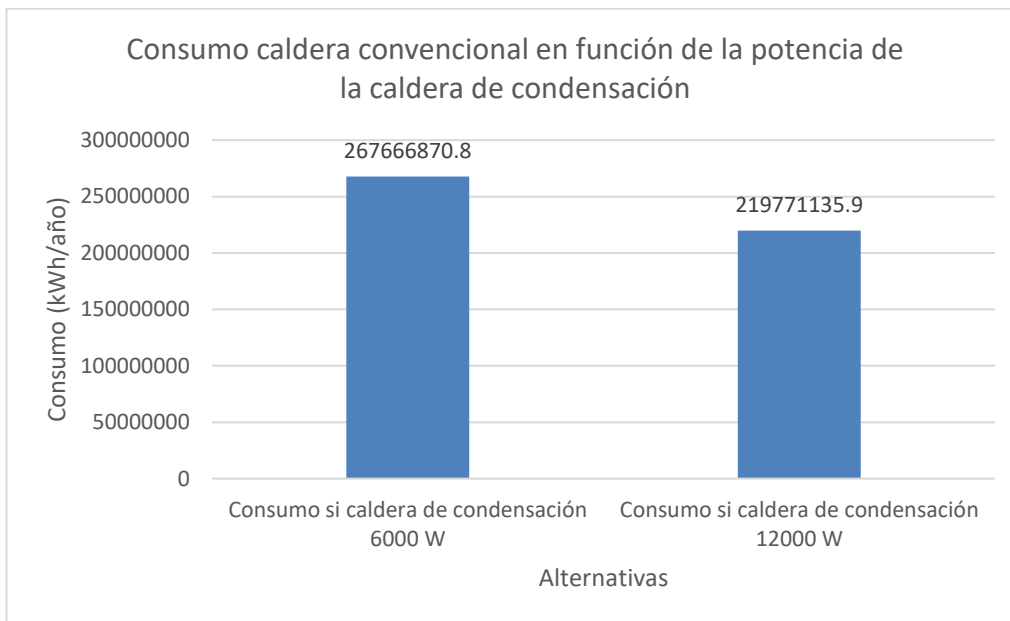


Figura 7-14. Consumo de la caldera convencional según la potencia de la de condensación. Fuente: Elaboración propia

7.2.8 Análisis de sensibilidad

Se estudian ahora varios análisis que se han realizado.

- Aumento de potencia nominal de la caldera de condensación.

Manteniendo el resto de las variables constantes se modifica la potencia nominal de condensación

para analizar cómo se modifica la temperatura del tanque de ACS.

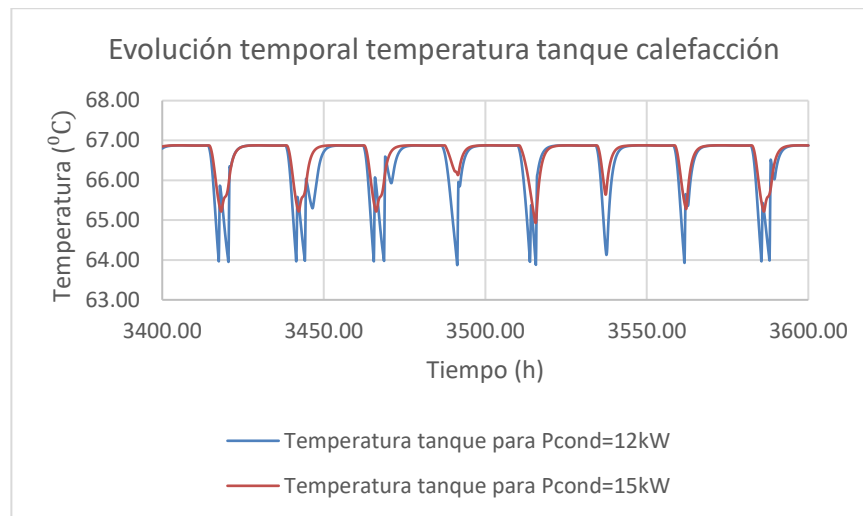


Figura 7-15. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes potencias. *Fuente: Elaboración propia*

Se puede observar cómo claramente la temperatura sufre menores oscilaciones cuanto mayor es la potencia nominal de la caldera de condensación. Esta solución que se obtiene era la esperada, ya que la potencia de la caldera es directamente la que manda el agua caliente hacia el tanque. Luego, a mayor potencia le resulta más sencillo mantenerse entre las temperaturas límites superior e inferior que con menor potencia.

- Aumento de volumen del tanque de ACS.

En este caso ocurre algo análogo al caso anterior, pero con el volumen del tanque de ACS, y es que, a mayor volumen, menores son las oscilaciones que se pueden observar si hablamos de temperatura.

Esto se debe a que en el volumen pequeño el vaciado se produce de forma mucho más rápida que en el volumen mayor, esto provoca que la temperatura sufra estos cambios más frecuentes.

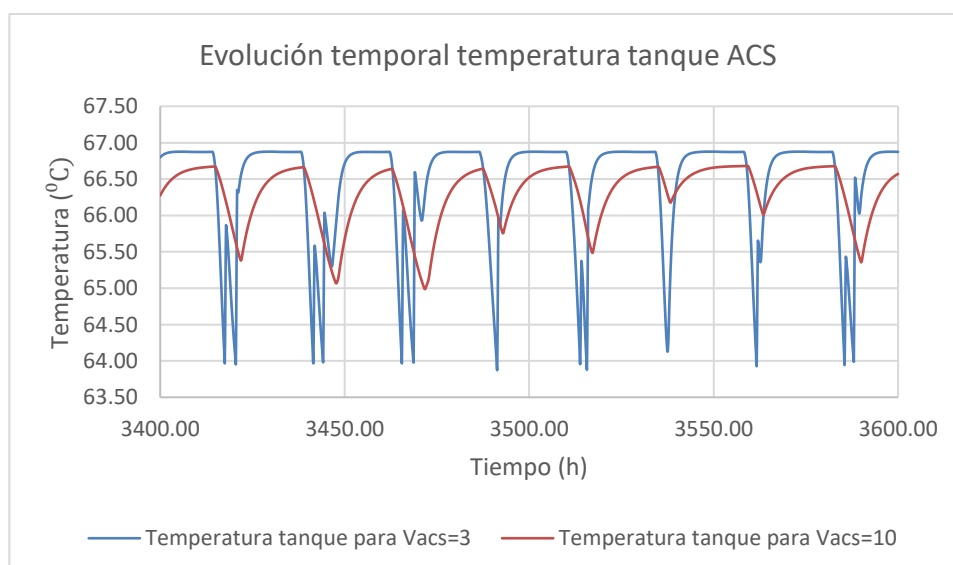


Figura 7-16. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes volúmenes de ACS.

Fuente: Elaboración propia

- Aumento de la potencia de refrigeración.

Se han tomado dos potencias nominales de enfriadora y se ha comparado la temperatura en el tanque de refrigeración. Lo que se observa claramente en la figura es que cuanto la potencia de la enfriadora es menor, esto puede dar problemas a la hora de mantener la temperatura del tanque entre los límites establecidos. De hecho, en este caso, se puede observar que a veces esta temperatura supera los 12°C cuando la potencia de la enfriadora no es suficiente.

Sin embargo, para el caso de una enfriadora mayor, se puede observar como en todo momento se mantiene en el rango establecido de 7 a 12°C.

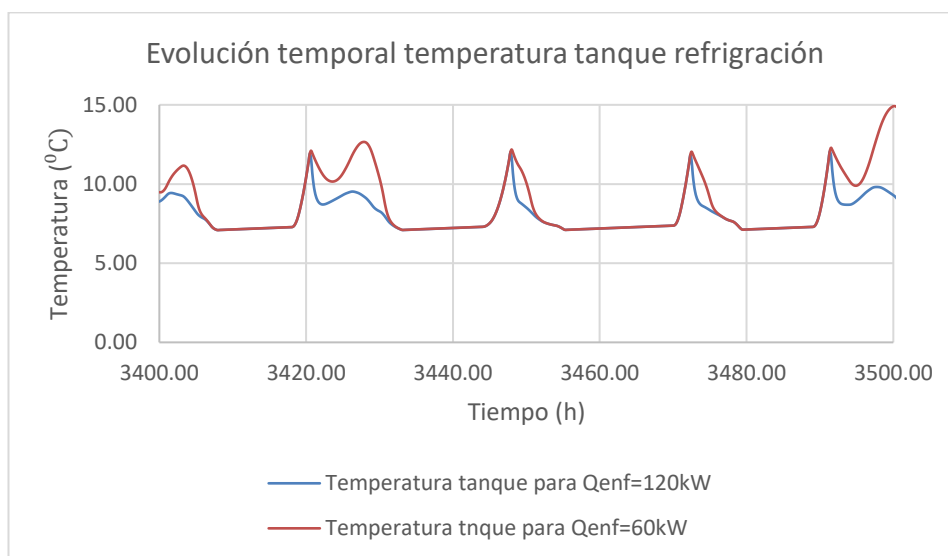


Figura 7-17. Evolución temporal temperatura tanque calefacción para diferentes volúmenes de ACS.

Fuente: Elaboración propia

7.2.9 Cierre de balances

En cualquier sistema térmico debe cumplirse ante todo que la variación de calor entrante y saliente en el mismo debe ser cero, por ello se procede a su comprobación a través de los balances de energía. Para la realización de estos balances se ha tomado una simulación de todas las posibilidades que se tenían. El cierre de balance es por tanto una comprobación necesaria para aceptar que las simulaciones que se han obtenido cumplen con las leyes de la física y que en ningún momento se está creando energía, si no transformando.

Este balance se va a hacer tanto de forma mensual como diaria. En la Figura 7-18 se representa el balance mensual de la refrigeración, en el que se aporta la potencia de la enfriadora y se consume la demanda y pérdidas que se producen en el tanque. En la Figura 7-19 se realiza de forma análoga el balance mensual para ACS y calefacción. En ambos se observa que el balance se cumple con un error mínimo.

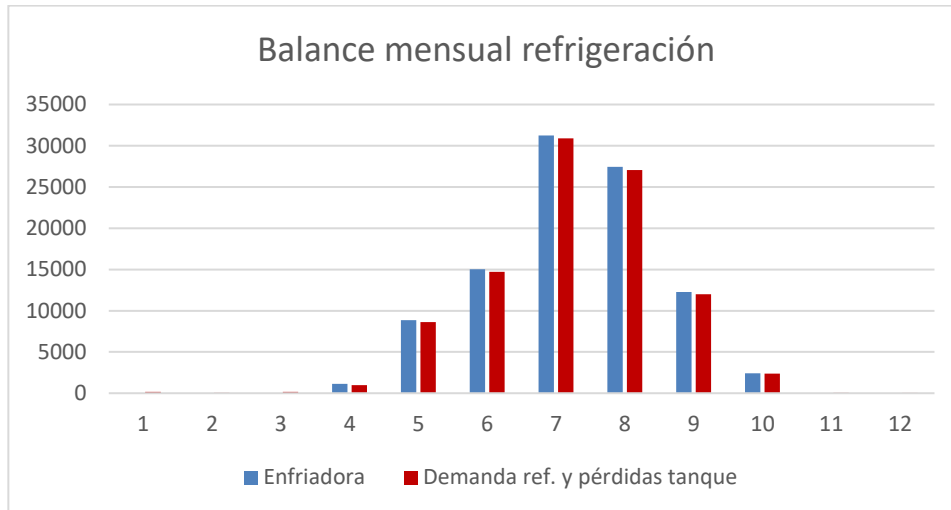


Figura 7-18. Balance de energía mensual refrigeración

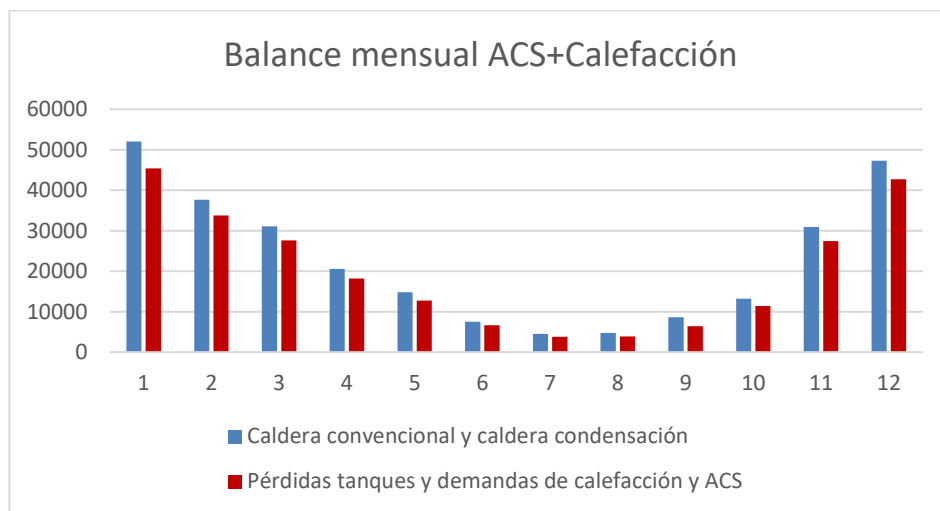


Figura 7-19. Balance de energía mensual ACS y calefacción

Como se ha dicho, también se han representado los balances diarios de la simulación de todo un año, y las gráficas que se han obtenido son las siguientes.

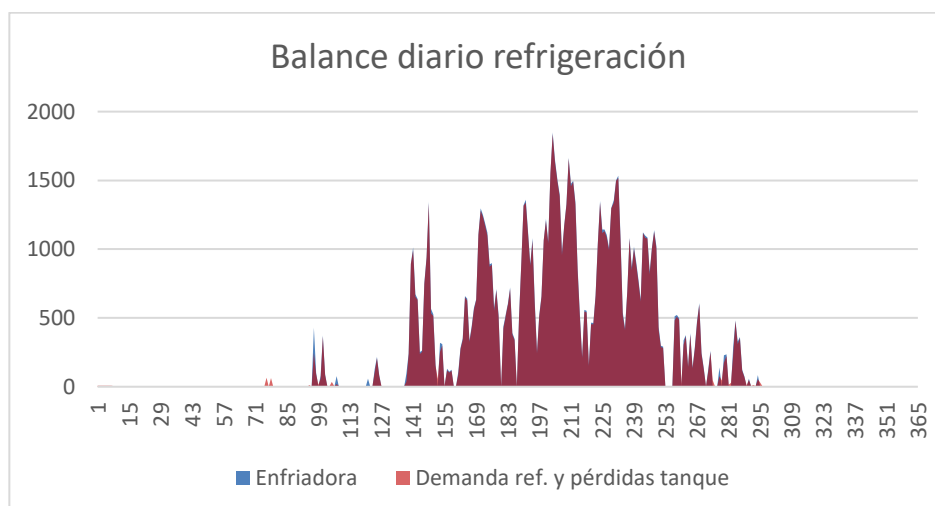


Figura 7-20. Balance diario refrigeración

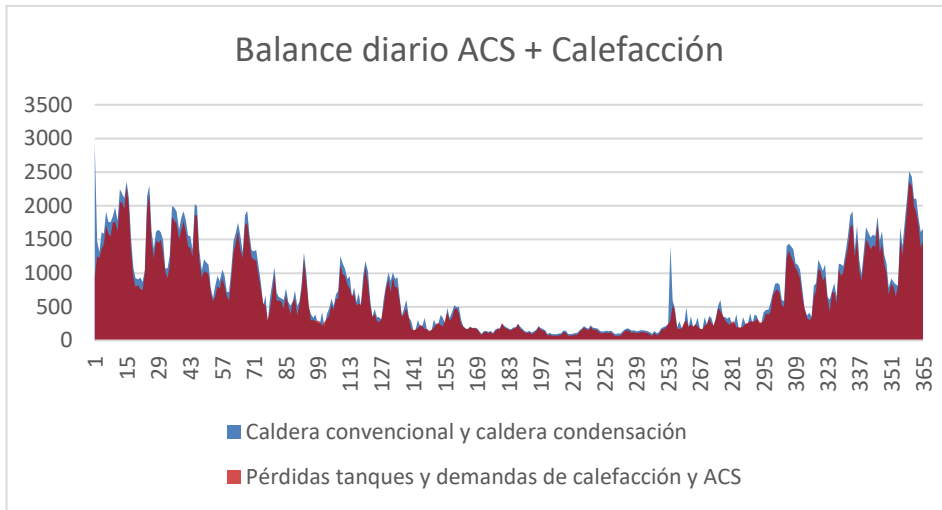


Figura 7-21. Balance diario ACS y calefacción

En estas dos últimas se ve cómo las áreas se superponen, lo cual indica que los desajustes producidos son mínimos también.

8 ESTUDIO ECONÓMICO

8.1 Costes iniciales

Los costes iniciales corresponden a los costes de adquisición de equipos fundamentalmente. Para el cálculo de estos se ha utilizado una base de datos que el departamento de Termotecnia de la Universidad de Sevilla ha puesto a disposición del presente Proyecto.

De forma que:

$$Coste_{inicial}[\text{€}] = Coste_{cond} + Coste_{enf} + Coste_{tanqueCAL} + Coste_{tanqueACS} + Coste_{tanqueREF}$$

Se procede en los siguientes apartados al estudio del cálculo de cada componente.

8.1.1 Coste inicial caldera estándar

La caldera estándar supone una inversión inicial nula para el proyecto, ya que el hotel constaba de esta caldera y se va a mantener la misma para así aprovechar una parte de la instalación actual y suponer de esta forma un ahorro considerable.

8.1.2 Coste inicial caldera de condensación

Para el coste de la caldera de condensación se ha obtenido el siguiente gráfico con los equipos que se tenían en la base de datos y se ha calculado una recta de regresión para poder calcular el coste para cualquier potencia nominal de la misma. En la Figura 8-1 se observan los costes frente a la potencia nominal del equipo que se busca.

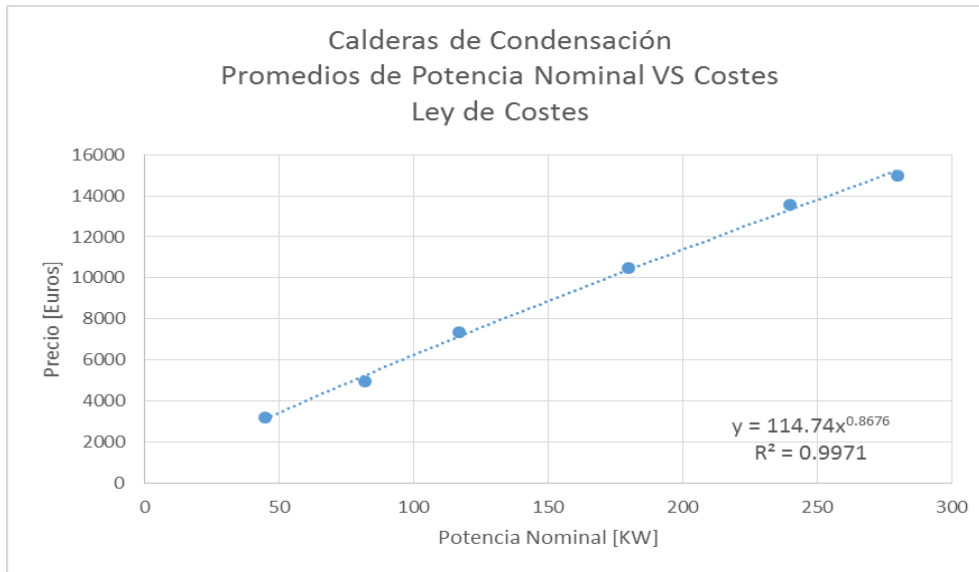


Figura 8-1. Ley de costes caldera convencional. Fuente: Dpto Termotecnia, US

Esta recta de regresión tiene un coeficiente de determinación, R^2 , del 99'71%, el cual es aceptable para el cálculo. La función de la recta quedaría:

$$Coste_{cond}[\text{€}] = 114.74 \cdot PotNom_{cond}^{0.8676}$$

8.1.3 Coste inicial enfriadora

Para la enfriadora con recuperación se ha obtenido el coste según la base de datos de enfriadoras convencionales, ya que son los equipos que se tenían registrados con sus precios correspondientes. De manera análoga a la caldera de condensación se ha obtenido el gráfico de la Figura 8-2 y se ha calculado una recta de regresión para poder calcular el coste para cualquier potencia nominal de esta.

Esta recta de regresión tiene un coeficiente de determinación, R^2 , del 96'49%, el cual no es tan exacto como en el caso anterior, pero se ha considerado aceptable para el cálculo.

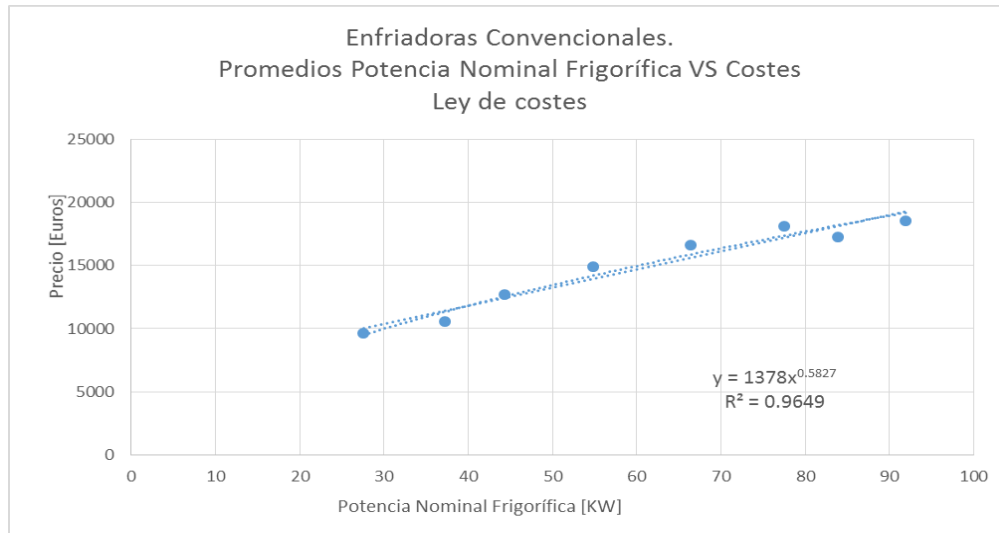


Figura 8-2. Ley de costes enfriadora convencional. Fuente: Dpto Termotecnia, US

La función de la recta quedaría:

$$Coste_{enf}[\text{€}] = 1378 \cdot PotNom_{enf}^{0.5827}$$

8.1.4 Coste inicial depósitos

Para el cálculo de los costes iniciales de los tanques de almacenamiento de agua, se ha obtenido una ley de costes para tanques con y sin serpentín. De manera análoga a los ambos casos anteriores se ha obtenido el gráfico de la Figura 8-3 y se ha calculado la recta de regresión correspondiente para poder calcular el coste para cualquier volumen que tengan los depósitos.

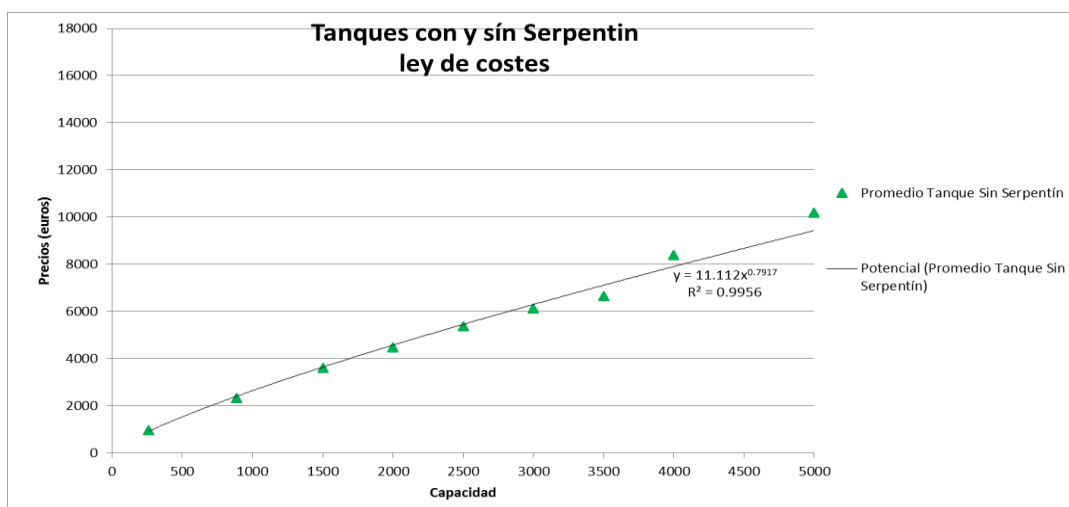


Figura 8-3. Ley de costes de tanques de almacenamiento. Fuente: Dpto Termotecnia, US

Esta recta de regresión tiene un coeficiente de determinación, R^2 , del 99'56%, el cual es muy

aceptable para el cálculo. La función de la recta quedaría:

$$Coste_{tanque}[\text{€}] = 11.112 \cdot Vol_{tanque}^{0.7917}$$

Esta ecuación se utilizará para calcular el coste de:

- Tanque de acumulación para calefacción
- Tanque de acumulación para ACS
- Tanque de acumulación para refrigeración

Cada uno de estos costes iniciales se han calculado para las 289 simulaciones que se han obtenido.

8.2 Costes de operación

Los costes de operación en el caso de la instalación que se tiene constan básicamente de los costes que se producen debido al consumo de energía, bien sea el gas natural (energía primaria) o la electricidad (de la red) que se consume, dependiendo del equipo que se vaya a estudiar.

$$Coste_{operación}[\text{€}] = Coste_{GN} + Coste_{Elect}$$

Se van a calcular estos costes de operación de forma anual. Será más tarde en el análisis del ciclo de vida cuando se estudien los costes durante la vida completa de la instalación.

8.2.1 Coste de operación del gas natural

Los equipos que consumen gas natural de la instalación serán tanto la caldera convencional como la caldera de condensación. Para poder calcular los costes es necesario conocer el consumo que tienen estos equipos, estos datos se han obtenido también de las simulaciones que se han hecho en TRNSYS.

$$Coste_{GN} [\text{€}] = (Consumo_{calef} + Consumo_{ACS})[\text{kWh}] \cdot Precio_{GN} [\text{€/kWh}]$$

Se ha considerado el precio del gas natural igual a 0.068 €/kWh, ya que es aproximadamente el que tiene en el mercado en la actualidad, de forma que los resultados que se obtengan sean lo más reales posibles.

8.2.2 Coste de operación de la energía eléctrica

El equipo mayor consumidor de energía eléctrica en esta instalación es la enfriadora con recuperación, ya que se decidió la introducción de una enfriadora eléctrica. Otros equipos consumidores de electricidad serían las bombas, esta energía que consumen no se va a estudiar de forma individual, ya que tampoco se han estudiado los costes de adquisición de estas.

Para poder calcular los costes es necesario conocer el consumo que tienen estos equipos, estos datos se han tomado de las simulaciones que se han realizado en TRNSYS.

$$Coste_{Elect} [\text{€}] = Consumo_{Enfr} [kWh] \cdot Precio_{Elect} [\text{€/kWh}]$$

Se ha considerado el precio de la energía eléctrica igual a 0.209 €/kWh, ya que es aproximadamente el que tiene el mercado en la actualidad, de forma que los resultados que se van a obtener sean lo más reales posibles.

Todos estos costes de operación y funcionamiento se han calculado para las 289 simulaciones que se han obtenido en TRNSYS para el posterior estudio del CCV.

8.3 Coste del ciclo de vida

El “Life Cycle Costing” o Análisis de Costes del Ciclo de Vida se define como el análisis de todos los costes asignables a un producto o servicio desde que se inicia la concepción de la idea hasta el final de su vida útil, por o para cualquier agente asociado a las fases de la vida del mismo.

Los costes de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida pueden ser fácilmente visibles como son los costes directos de la producción (costes de materias primas, energía y mano de obra) o pueden tener una menor visibilidad como son los costes indirectos para el fabricante (pérdida de productividad debida a los residuos) o los costes para la sociedad (problemas de salud por la contaminación).

Además, ciertas fases del ciclo de vida pueden presentar costes con una alta visibilidad (producción y distribución) y los incurridos en otras fases quedar más ocultos (fin de vida del producto) aunque a posteriori puedan tener un gran impacto sobre la organización.

Como se puede apreciar en la Figura 8-4, en la etapa de desarrollo el producto que está siendo diseñado sólo generará pérdidas, posteriormente en el lanzamiento de este se generarán más costes que ingresos por los costes de marketing y de introducción del nuevo producto al mercado. Una vez ya lanzado, se espera que el producto llegue un momento que empiece a dar beneficios a la empresa y que estos superen a los costes de las etapas anteriores. Por último, cuando llega la etapa de madurez y el declive el producto cada vez dará menos ingresos hasta que llegue un momento en el que deba ser renovado o retirarse.

Ciclo de vida del producto

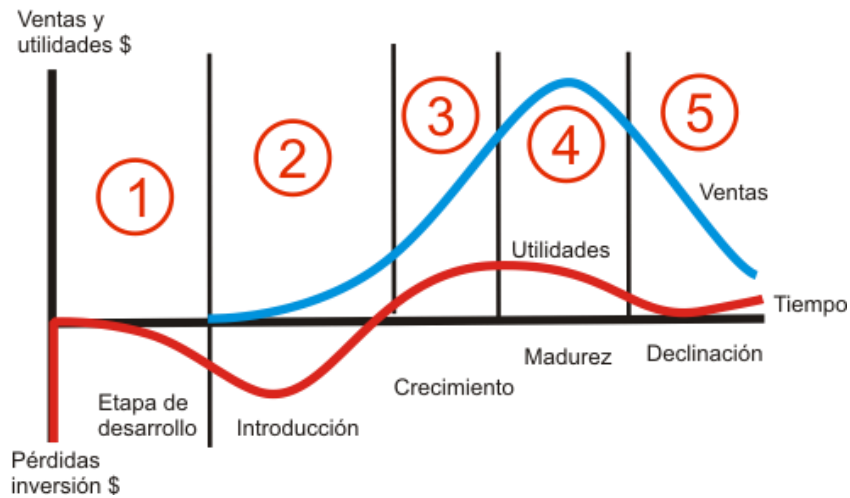


Figura 8-4. Etapas del ciclo de vida del producto. *Fuente: PDCA*

Ventajas del uso de LCC:

- Mayor conciencia de los costes totales de las adquisiciones.
- Mayor transparencia de los costes futuros.
- Mejor predicción y planificación de los costes.
- Ayuda a la evaluación de las ofertas de una forma más sostenible.

Se va a analizar el coste del ciclo de vida (€) a 30 años de vida, por lo que los cálculos se harían como se detalla a continuación.

$$CCV = Coste_{inicial} + (Coste_{operación}) \cdot \sum_{t=1}^{30} \frac{1}{(1+r)^t}$$

En esta fórmula, la notación “r” corresponde a la tasa de actualización del dinero, la cual se va a considerar del 3% ya que las cantidades variarán conforme pasen los años. El valor del coste de ciclo de vida obtenido representará el valor actual de los gastos que se van a realizar a lo largo de 30 años.

Cada uno de los costes del ciclo de vida se han calculado para las 289 simulaciones que se han obtenido. Pudiendo de esta forma analizar las opciones más económicas y las más encarecidas.

9 CONCLUSIONES

9.1 Evaluación final

Lo que se ha desarrollado en este proyecto, es un estudio, tanto del diseño como de las dimensiones de los equipos que debe de tener una instalación un hotel en un clima en concreto para satisfacer una demanda de ACS y de calefacción.

Se han visto los distintos porcentajes de demanda cubierta que se obtienen dependiendo los distintos tamaños de equipos que se utilicen. Finalmente, conociendo las diferentes configuraciones se ha hecho un análisis económico de la instalación teniendo en cuenta la inversión inicial y los costes de operación que nos supondría cada opción de instalación.

La necesidad de reducir el consumo de energía y, consecuentemente, las emisiones de contaminantes, sin merma del confort de las personas, ha llevado a los fabricantes a la búsqueda de equipos cada vez más eficientes; en el caso de las calderas, la elevación más importante de este rendimiento se localiza en el aprovechamiento del calor de condensación del agua de los humos, que permite incrementos de hasta un 30% respecto a los máximos alcanzables con las calderas tradicionales. Por este motivo, el uso de este tipo de calderas debe potenciarse en la medida de lo posible

El potencial de mejora del rendimiento de las calderas debido al aprovechamiento del calor de condensación del agua de los humos es la mayor evolución que pueden experimentar las calderas, ya que, respecto al poder calorífico inferior, se han alcanzado valores muy altos; es por ello que cada vez se emplearán más este tipo de calderas.

Por lo tanto, las calderas de condensación presentan unas menores pérdidas superficiales, al poder disminuir la temperatura de la caldera en función de la temperatura exterior, y unas menores pérdidas por humos, al reducir la temperatura de los gases de la combustión a menos de 50°C.

Las calderas de condensación son los equipos en los que se ha integrado mayor tecnología, por lo que, incluso trabajando en condiciones en las que no se alcance la condensación, proporcionan altos rendimientos.

Por otro lado, destaca la recuperación de calor de la enfriadora para producción de ACS, que implica un ahorro energético obtenido en el ciclo de refrigeración.

De todas las opciones posibles se tomará aquella que cumpla con la demanda y la normativa y que, además tenga el menor coste de ciclo de vida, ya que esto hará que sea la opción más rentable además de eficiente.

9.2 Trabajos futuros

Gracias a la posibilidad que ofrece TRNSYS de realizar simulaciones y obtener resultados instantáneos, es fácil realizar el estudio de diferentes posibilidades en las que se puedan analizar otras situaciones que mejoren la instalación que se busca.

La tendencia actual y futura en el comportamiento energético de edificios consiste, en que su consumo de energía sea casi nulo. Este balance es posible cuando la energía que se consume en el edificio se produce mediante al aprovechamiento de fuentes de energías renovables, cubriendo así la totalidad de la demanda energética del mismo.

Una manera ecológica y sostenible, de obtener agua caliente sanitaria en los edificios, es mediante el aprovechamiento de la radiación solar, utilizando para ello una instalación solar térmica.

9.3 Valoración personal

El presente Proyecto me ha hecho descubrir la cantidad de tecnologías y posibilidades que existen en este campo, y las que quedan aún por desarrollarse de una forma más completa.

La implementación de esta instalación en un hotel real y tan vinculado a la eficiencia energética y apoyado en múltiples empresas ha sido todo un reto y motivación.

REFERENCIAS

- Aguidrovert, 2017. *Depósitos acumuladores e interacumuladores para fontanería, agua caliente sanitaria, calefacción, energía solar térmica aerotermia y geotermia*. [En línea]
Available at: <http://www.aguidrovert.com/es/depositos-acumuladores>
- Alberto Iglesias Fraga, 2018. *¿Qué es el mix eléctrico y cuál fue el de España durante 2017?*. [En línea]
Available at: <http://www.ticbeat.com/innovacion/energia/que-es-el-mix-electrico-y-cual-fue-el-de-espana-durante-2017/>
- Antonio Colino Martínez, 2010. *Modelo energético actual mundial*. [En línea]
Available at: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4548656.pdf>
- Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC), 2016. *Enfriadoras de agua. Situación actual y tendencias*. [En línea]
Available at: <http://bombadecolor.org/noticias/wp-content/uploads/2016/05/Enfriadoras.pdf>
- Automotores, 2017. *Depósitos acumuladores de agua caliente sanitaria*. [En línea]
Available at: https://www.autopromotores.com/construccion/acumuladores-agua-caliente/#Acumuladores_de_inercia
- Blog de Endesa, 2017. *Generación distribuida: retos y oportunidades en España e Hispanoamérica*. [En línea]
Available at: <https://www.elblogdeendesa.com/eficiencia-energetica-energia/generacion-distribuida-retos-oportunidades-espana-hispanoamerica/>
- BP, 2016. *Statistical Review of World Energy 2016*. [En línea]
Available at: https://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html
- Caloryfrio, 2016. *Acumulador solar*. [En línea]
Available at: <https://www.caloryfrio.com/163-descripcion-funcionamiento-acumulador-solar.html>
- Carrier Corporation, 2008. *Heat recovery from chilled water systems*. [En línea]
Available at: <http://dms.hvacpartners.com/docs/1001/public/0a/04-581025-01.pdf>
- Climate-data.org, 2018. *Clima: Barcelona*. [En línea]
Available at: <https://es.climate-data.org/location/1564/>
- Comisión Europea, 2017. *La transición energética de Europa está ya en marcha*. [En línea]
Available at: europa.eu/rapid/press-release_IP-17-161_es.pdf
- Comisión Europea, 2017. *Perspectivas de la evolución mundial hasta 2030 en los ámbitos de la energía, la tecnología y la política climática*. [En línea]
Available at: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key_messages_es.pdf
- Departamento ingeniería química UGR, 2010. *Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas*. [En línea]
Available at: <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/qi/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- Ecobioebro, 2017. *¿Qué es un depósito de inercia?*. [En línea]
Available at: <https://www.ecobioebro.es/que-es-un-deposito-de-inercia/>

- Econoticias, 2017. *Informe 2017 sobre la situación mundial de las energías renovables*. [En línea] Available at: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/137154/Informe-2017-sobre-la-situacion-mundial-de-las-energias-renovables>
- Ecovat, 2017. *First results from the Ecovat in line with thermodynamic analysis*. [En línea] Available at: <https://www.ecovat.eu/our-news/first-results-from-the-ecovat-line-with-thermodynamic-analysis/?lang=en>
- El diario web, 2015. *¿De cuánta energía podremos disponer realmente?*. [En línea] Available at: https://www.eldiario.es/ultima-llamada/crisis_energetica-peak_oil-transicion_energetica_6_345125495.html
- Energy and Environmental Analysis, Inc, 2005. *Characterization of the U.S. Industrial/Commercial Boiler Population*. [En línea] Available at: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/characterization_industrial_commerical_boiler_population.pdf
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), 2009. *Guía básica de calderas de condensación*. [En línea] Available at: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-Basica-Calderas-Condensacion-2009-fenercom.pdf>
- Gasfriocalor, 2017. *Diferencia entre acumulador, interacumulador y de inercia*. [En línea] Available at: <https://www.gasfriocalor.com/blog/calefaccion/diferencia-entre-acumulador-interacumulador-y-acumulador-de-inercia#acumulador>
- Inarquia, 2017. *Generación Distribuida y Autoconsumo, el futuro de las Ciudades Inteligentes*. [En línea] Available at: <https://inarquia.es/generacion-distribuida-autoconsumo-futuro-ciudades>
- International Energy Agency, 2017. *Coal*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/coal/>
- International Energy Agency, 2017. *Energy efficiency*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>
- International Energy Agency, 2017. *Investment*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/investment/>
- International Energy Agency, 2017. *Natural gas*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/naturalgas/>
- International Energy Agency, 2017. *Nuclear*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/nuclear/>
- International Energy Agency, 2017. *Oil*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/oil/>
- International Energy Agency, 2017. *Renewables*. [En línea] Available at: <https://www.iea.org/topics/renewables/>
- Iñigo Capellán-Pérez, 2014. *Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socio-económicos: un enfoque integrado*. [En línea].
- Javier Latorre, 2016. *Generación eléctrica distribuida y autoconsumo. Propuestas regulatorias y empresariales*. [En línea] Available at: http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/wp-content/uploads/2016/02/6.-Javier-Latorre-Autoproducci%C3%B3n_Jornada_Fundacion_Gas_Natural_PamplonaWEB.pdf

- Jing Jia, 2006. *Introduction of heat recovery chiller control and water system design*. [En línea] Available at: <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/5243/ESL-IC-06-11-104.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Jose Abelardo Novoa Piedra, 2016. *Diseño de la instalación de servicios de agua caliente en un hotel*. [En línea] Available at: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6728>
- Justin Bem, 2010. *Chiller-heater and heat recovery system analysis*. [En línea] Available at: <https://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2007/JSB284/Section%208.pdf>
- Meteoblue, 2018. *Archivo meteorológico Barcelona*. [En línea] Available at: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/barcelona_esp%C3%B1a_3128760?fcstlength=1m&year=2018&month=8
- Novagob, 2018. *El coste del ciclo de la vida. Datos de licitadores y análisis de costes*. [En línea] Available at: <https://novagob.org/el-coste-del-ciclo-de-vida-ccv-datos-de-licitadores-y-analisis-de-costes/>
- Novagob, 2018. *La ecuación del coste del ciclo de vida*. [En línea] Available at: <https://novagob.org/la-ecuacion-del-coste-del-ciclo-de-vida-ccv/>
- QuimiNet, 2011. *La importancia de usar un intercambiador de calor*. [En línea] Available at: <https://www.quiminet.com/articulos/la-importancia-de-usar-un-intercambiador-de-calor-2570415.htm>
- Reid Hart, PE, Pacific Northwest National Laboratory, 2016. *Introduction to Commercial Building HVAC Systems and Energy Code Requirements*. [En línea] Available at: https://www.energycodes.gov/sites/default/files/becu/HVAC_Systems_Presentation_Slides.pdf
- Scielo, 2016. *Actualidad y perspectivas de una bomba de calor de expansión directa con energía solar*. [En línea] Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000100007
- Stop cambio climático, 2018. *Las centrales de carbón lideran la contaminación en Europa*. [En línea] Available at: <http://www.stopcambioclimatico.es/2018/04/12/las-centrales-de-carbon-lideran-la-contaminacion-en-europa/>
- Suelo Solar, 2012. *La evolución de la Generación Distribuida en España*. [En línea] Available at: <https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=7115>
- Suelo Solar, 2017. *Temperatura del agua de red en capitales de provincia de España*. [En línea] Available at: <https://suelosolar.com/guiasolares/acs/temph2oes.asp>
- The Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), 2003. *Energy efficiency & industrial boiler efficiency*. [En línea] Available at: https://www.energyvortex.com/files/EnergyEfficiencyWhitePaper_3-25-03.pdf
- TODOPRODUCTIVIDAD, 2010. *Análisis en detalle de la recuperación de calor en los sistemas de enfriamiento*. [En línea] Available at: <http://todoproductividad.blogspot.com/2010/04/analisis-en-detalle-de-la-recuperacion.html>
- UNEF, 2017. *El autoconsumo y la generación distribuida, claves para el desarrollo económico de Galicia*. [En línea] Available at: <https://unef.es/2017/02/el-autoconsumo-y-la-generacion-distribuida-claves-para-el->

desarrollo-economico-de-galicia/

Universidad del País Vasco, 2015. *Intercambiadores*. [En línea]
Available at: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/intercambiadores.htm>

WeBarcelona, 2018. *El tiempo en Barcelona*. [En línea]
Available at: <https://www.webarcelona.net/es/tiempo-barcelona>

