



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Máster

**INSTALACIONES DE
CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO
SINGULAR EMPLEANDO ENERGÍA
PROCEDENTE DE LA BIOMASA,
ESTUDIO ENERGÉTICO,
CALIFICACIÓN Y PROPUESTA DE
MEJORAS DESTINADAS AL
AHORRO DE ENERGÍA**

Alumno/a: Álvarez Díaz, Ángel

Tutor/a: Prof. D. Nabih Khanafer Bassam
Dpto.: Máquinas y motores Térmicos

Agosto, 2021

Índice

1. Memoria descriptiva	5
1.1. Fin del proyecto.....	5
1.2. Justificación del proyecto	5
1.3. Descripción del edificio objeto de estudio.....	8
1.4. Situación del Covid-19.	11
1.5. Certificación energética.....	12
2. Anexo I. Cálculo de las cargas térmicas.....	15
2.1. Cálculo y obtención de las cargas térmicas.....	17
2.1.1. Carga térmica aportada por la radiación solar en las paredes y techo del recinto. 18	
2.1.2. Carga térmica aportada por las paredes y techo del recinto que no reciben radiación solar.....	20
2.1.3. Carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos y aberturas (puertas) hacia el exterior u otros recintos (NO SE CONSIDERA aportación debido a la radiación solar)	21
2.1.4. Carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos y aberturas (puertas) hacia el exterior u otros recintos (SE CONSIDERA aportación debido a la radiación solar)	22
2.1.5. Carga térmica debida al calor interno (ocupación, iluminación, aparatos eléctricos y otros tipos de aparatos).....	23
2.1.5.1. Carga térmica debida a la ocupación del recinto por personas.....	23
2.1.5.2. Carga térmica debida a la iluminación del recinto.....	24
2.1.5.3. Cargas varias	25
2.1.6. Carga térmica debida al aire exterior.....	26
2.1.7. Mayoración de la carga térmica	28
2.2. Cargas de calefacción.....	29
2.2.1. Cargas térmica debida a la radiación solar	29
2.2.2. Cargas térmica debida a la aportación solar en paredes y techo	30
2.2.3. Cargas térmica a través de los acristalamientos o puertas exteriores.....	31
2.2.4. Cargas térmica debida al calor interno (ocupación, iluminación, aparatos eléctricos y otros tipos de aparatos).....	31
2.2.5. Cargas térmica debida al aire exterior	32
2.2.6. Porcentaje de mayoración	33
2.3. Resultados de las cargas térmicas.....	33
3. Anexo II. Exigencias y cumplimientos básicos del ahorro de energía.....	34
3.1. Introducción	34
3.2. Justificación del Documento Básico: Ahorro de energía.....	34

3.2.1.	Ámbito de aplicación.....	35
3.2.2.	Caracterización de la exigencia	36
3.2.3.	Justificación del cumplimiento de la exigencia	37
3.2.4.	Solicitaciones para el cálculo de la demanda.....	38
3.2.5.	Características generales el cálculo de la demanda	39
3.2.6.	Modelado del edificio	40
3.2.7.	Zonificación del edificio.....	40
3.3.	Obtención de datos	41
3.3.1.	Método de cálculo de la demanda energética.....	41
3.3.2.	Porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto del edificio de referencia.....	42
3.3.3.	Estudio del balance anual de energía del edificio objeto de estudio	43
4.	Anexo III. Instalación de climatización	45
4.1.	Obtención de datos	45
4.2.	Sistema de distribución de agua en climatización	46
4.2.1.	Introducción	46
4.2.2.	Cálculo de la caída de presión en los tramos de la conducción	47
4.3.	Sistema de distribución de aire, elementos difusores.....	50
4.3.1.	Introducción	50
4.4.	Sistema de distribución de aire, conductos.	51
4.4.1.	Introducción	51
4.4.2.	Método de dimensionamiento de los conductos	51
4.4.3.	Pérdida de presión en los conductos.	52
5.	Anexo IV. Calificación energética del edificio	55
5.1.	Introducción	55
5.2.	Certificación de eficiencia energética	56
5.3.	Obtención de la calificación energética mediante CE3X.....	57
5.3.1.	Datos introducidos.....	57
5.3.2.	Calificación energética del edificio objeto	58
5.3.3.	Mejora de la calificación energética realizada.....	60
6.	Anexo V. Estudio de cogeneración.....	61
6.1.	Introducción	61
6.2.	Empleo de trigeneración	64
6.3.	Estudio de la implementación del sistema de trigeneración.....	66
6.3.1.	Calor útil empleado en la climatización	67
6.3.2.	Sistema de cogeneración a implementar	68

6.3.3.	Sistema de cogeneración/trigeneración seleccionado	69
6.4.	Máquina de absorción	76
6.4.1.	Tecnología de un sistema de absorción.....	76
6.4.2.	Potencia térmica necesaria.....	77
6.4.3.	Máquina de absorción escogida	77
6.4.4.	Obtención de datos para la elección de la torre de refrigeración.....	81
6.4.5.	Elección de la torre de refrigeración.....	85
6.4.6.	Conclusión.....	89
7.	Planos.....	89
	Bibliografía	95

1. Memoria descriptiva

1.1. Fin del proyecto

El fin de este proyecto resulta en la optimización de un edificio del sector terciario empleando para ello biomasa como una energía renovable, todo esto tras el estudio del edificio, su calificación y certificación.

Para ello se seguirán las normativas vigentes a fecha de comienzo del proyecto, en 2020, no contemplándose las modificaciones de las normativas durante el año 2021.

El edificio a estudio es el Parador de Turismo de Jaén, situado en el Cerro de Santa Catalina.

El alumno Ángel Álvarez Díaz ha realizado el proyecto a través de la Universidad de Jaén, titulado el proyecto como: INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO SINGULAR EMPLEANDO ENERGÍA PROCEDENTE DE LA BIOMASA. ESTUDIO ENERGÉTICO, CALIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS DESTINADAS AL AHORRO DE ENERGÍA”, cuyo fin es la aplicación de los conocimientos obtenidos a lo largo del título de Ingeniería Mecánica del Plan 2010 y del Máster de Ingeniería Industrial.

1.2. Justificación del proyecto

La justificación del proyecto reside en reducir el empleo de recursos energéticos escasos como son las energías no renovables, consiguiéndose a través de fomentar el empleo de las energías renovables las cuales además nos permiten reducir la dependencia energética con otros países, lo cual influye además en la relaciones que nuestro país tiene que mantener.

Al ser un proyecto de un edificio de la provincia de Jaén, una de las energías renovables con mayor facilidad de acceso y por consiguiente, más rentables es el empleo de biomasa, en especial de la proveniente del olivo, ya sea poda, hueso de aceituna, etc.

La biomasa puede emplearse en los 3 estados conocidos, como sólido, gas o líquido:

- Sólido: Lo componen los restos de vegetación u otra materia orgánica, se pueden transformar mediante procesos físicos para emplearse en aplicaciones energéticas que requieren de un nivel mayor de calidad.
- Gas: Procedente de la descomposición de la materia orgánica y de residuos biodegradables, producido por bacterias anaerobias.
- Líquido: Puede tener como origen grasas animales o aceites vegetales produciéndose con ello biodiesel o también provenir de las plantaciones con un fin energético, produciéndose con esto bioetanol.

El empleo de biomasa tiene múltiples ventajas que hace que sea conveniente su uso, algunas de estas es:

- Menor emisión de gases de efecto invernadero, en especial aquellas que contienen azufre o nitrógeno.
- Menor dependencia energética de productos provenientes de otros países
- Precio competitivo por la situación de la provincia
- El precio no es susceptible
- Es un recurso renovable.

En el caso de emplearse la biomasa en la cogeneración se puede establecer otra clasificación:

- Ciclo superior: Donde la energía primaria se emplea en una planta de potencia como energía mecánica y la energía residual, de carácter térmico se emplea para otro proceso industrial.

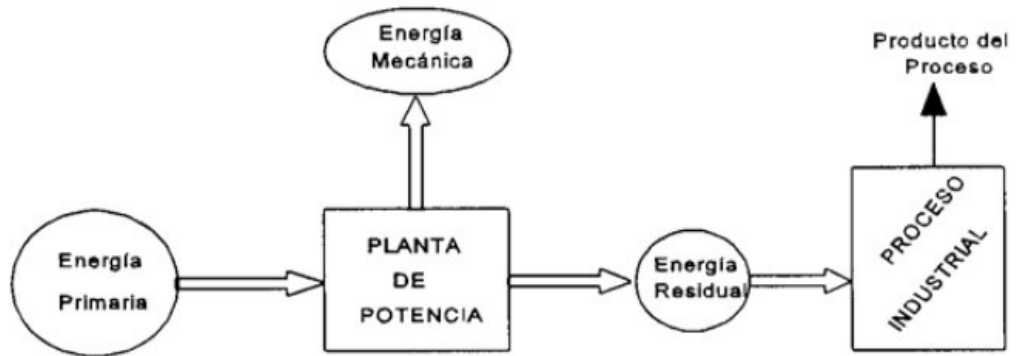


Ilustración 1.1. Esquema de un ciclo superior

- Ciclo inferior: La energía primaria se emplea en algún proceso industrial y el calor residual se emplea para la obtención de energía eléctrica. Este proceso requiere que el calor residual tenga una temperatura elevada.

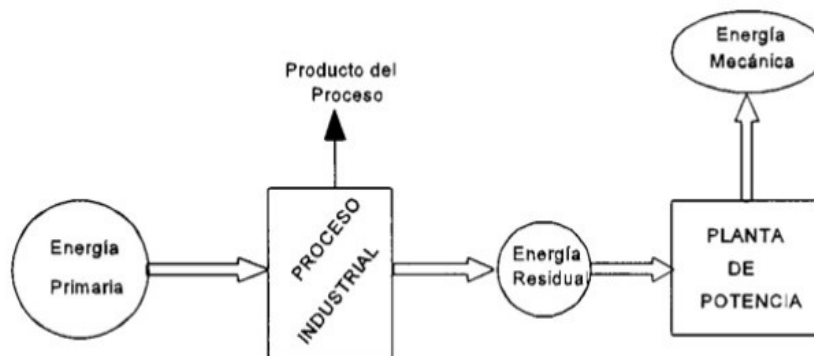


Ilustración 1.1. Esquema de un ciclo inferior

1.3. Descripción del edificio objeto de estudio

El edificio pertenece al grupo de paradores del estado, es un edificio considerado del tipo terciario.

El edificio, al ser un parador, es empleado para el hospedaje de personas, como ocurre en los hoteles. La construcción del edificio data del siglo XV, por lo que se considera un edificio con un carácter histórico.

Se encuentra situado en el Cerro de Santa Catalina, esto es importante ya que la altitud y el no estar rodeado de otros edificios hace que las condiciones térmicas sean peculiares.



Ilustración 1.3. Situación del edificio objeto de estudio.

El edificio se considera peculiar por su forma alargada y por tener plantas que se encuentran semienterradas, teniendo una cara con ventanas y huecos al exterior.

Las características de sus cerramientos hace de este algo especial, ya que todos los cerramientos exteriores de este edificio son de piedra caliza dura, con espesores que van desde los 30 cm hasta los 100 centímetros en las partes con los muros más anchos.

Al ser observado desde ambos lados, nos damos cuenta que tiene 2 plantas semienterradas las cuales gozan de unas características peculiares y que se tendrá que tener en cuenta a posteriori durante la realización del proyecto, esto implica tener cerramientos con muro de sótano, huecos y aberturas en la zona donde da la

luz y que se han aprovechado la construcciones de habitaciones, aseos y zonas de otros usos.

El edificio presenta en total 4 plantas, 2 bajo rasante y 2 sobre rasante.

En las plantas sobre rasante destaca la planta baja con un gran salón de cúpula y dos maravillosos salones comedores, además de haber habitaciones, baños, locales administrativos, cafetería o salón de juegos.

A modo de resumen, se va a presentar los resultados del estudio térmico, en el cual se observa como la carga de calefacción es bastante superior a la de refrigeración.

Esto es debido a la situación geográfica y solución constructiva del edificio, como ya se ha explicado, los cerramientos exteriores no son una solución correcta si se quiere reducir la demanda energética de un edificio.

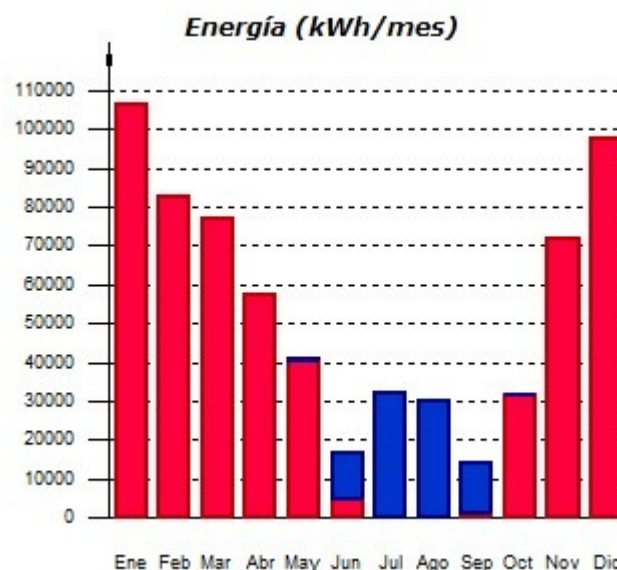


Ilustración 1.4. Carga térmicas del edificio objeto de estudio.

El sistema escogido para cubrir la demanda de energía, es el de un sistema a 4 tubos, donde a cada elemento del recinto llegan 4 tubos:

- Impulsión de agua caliente
- Retorno de agua caliente
- Impulsión de agua fría
- Retorno de agua fría

Esto permite poder cubrir una demanda de agua caliente para calefacción y de agua fría para refrigeración simultáneamente, al ser considerado un edificio de sector servicios debe procurarse el bienestar de los ocupantes del interior.

En el caso de los cuartos de baño, se ha optado por el empleo de radiadores toalleros ya que la función en el cuarto de baño es puramente de calefactar, siendo la temperatura de consigna del baño de 18°C.

El sistema de 4 tubos tiene la ventaja de poder cubrir con las demandas de calefacción y refrigeración, ya que en los edificios grandes es normal que en una parte incide el sol durante gran parte del día mientras que en otras zonas no, por lo que la sensación térmica y la demanda es distinta.

Si que tiene el conveniente de que los equipos y los sistemas a emplear son más caros que los convencionales bitubo.

En el caso de los sistemas de conducción, se han empleado conductos de lana mineral y tuberías de acero galvanizado que se encargan de distribuir el aire de entrada y de salida a los recintos de forma separada, ya que el aire de extracción no se debe de mezclar, aunque existe un fenómeno de bypass.

Posteriormente, este aire sale a través de difusores, que hacen que la sensación que produce el aire a su salida no moleste a los ocupantes.

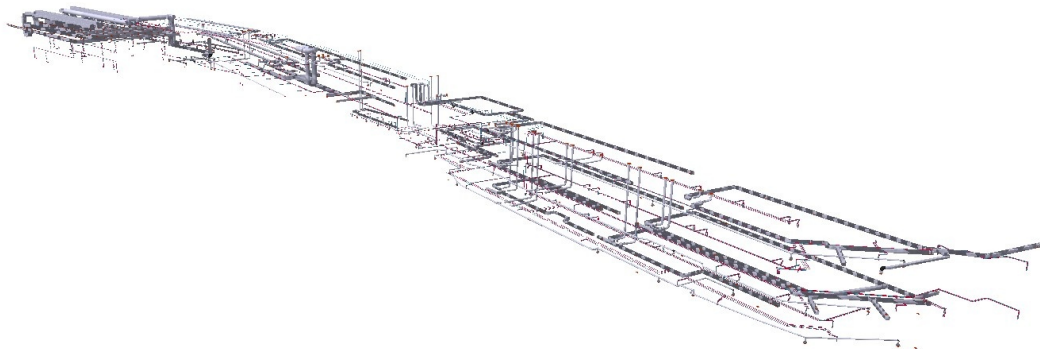


Ilustración 1.5. Sistema de climatización

1.4. Situación del Covid-19.

Se ha tenido en consideración los efectos del Covid-19 para el diseño de la instalación de climatización.

Se conoce que la principal forma de transmisión del virus es mediante la expulsión de los aerosoles además hay que destacar que aproximadamente 70 de cada 100 individuos infectados por el coronavirus son asintomáticos pero que son capaces de transmitir la enfermedad al tener una dosis infecciosa lo suficientemente alta como para ser transmisores.

Según el jefe de Seguridad Biológica y Biocontención: “la dosis infecciosa en aerosoles, respecto a la distancia, es de entre 100 y 2000 veces superior al de las gotas, por lo que el principal factor de transmisión es por la vía de aerosol”

En el interior de los edificios es necesario renovar el aire del interior mediante su extracción en parte o en su totalidad, estando este viciado e introduciendo aire del exterior nuevamente, lo que hace que se mejore la calidad del aire.

Antes de la entrada en vigor del Reglamento de Instalaciones Térmicas de 2007 no se tenía una conciencia tan estricta.

Una posibilidad de reducir el contagio es la de aumentar el número de renovaciones a una cantidad considerable, entre 6 y 8 renovaciones por hora, lo que hace que se reduzca drásticamente el tiempo de permanencia del aire original del recinto.

En este caso, lo que se ha decidido es duplicar el caudal de ventilación del recinto, lo que es lo mismo, duplicar el número de renovaciones de aire.

Además de esta medida, se ha decidido emplear múltiples recuperadores de calor más pequeños en lugar de recuperadores grandes y no emplear el sistema de bypass en los recuperadores de calor donde se hace una pequeña mezcla del aire que se extrae del recinto con el que se introduce para reducir la carga térmica requerida.

Esto hace que aumente la demanda energética, tanto en verano como en invierno.

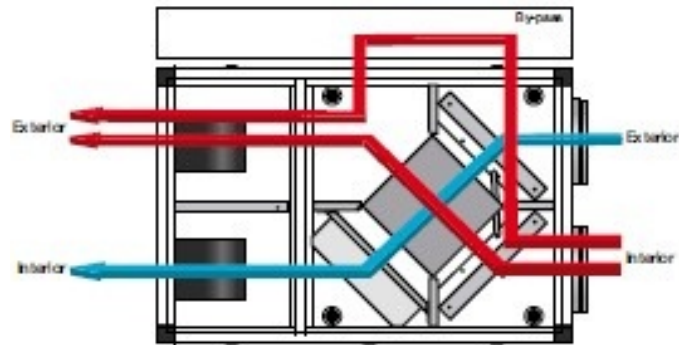


Ilustración 1.6. Recuperador de calor con sistema de bypass.

Como se ha indicado anteriormente, la principal vía de transmisión del Covid-19 es al aire a través de aerosoles, por lo que tiene sentido emplear como una solución los denominados filtros HEPA, los cuales son los más eficaces a la hora de filtrar agentes biológicos como son los virus o las bacterias.

El virus SARS-CoV-2 tiene un tamaño inferior a 0,15 micras por lo que en principio de retener pero un filtro HEPA13 tiene una eficacia mínima para cualquiera tamaño de partículas de un 99,95% según la normativa EN 1822 o ISO 29.643.

En el caso de un filtro HEPA 14 la eficacia según la normativa EN 1822 es del 99,99% sobre cualquier diámetro de partículas, incluidas bacterias y virus.

El motivo por el que se ha decidido no optar decisión, es por la presión de aire que producen estos filtros, que requieren de grandes ventiladores que hagan pasar el aire por estos filtros.

1.5. Certificación energética

En la Unión Europea, con datos del año 2013 se estima que aproximadamente hay cerca de 510 millones de habitantes, esta población consumo una cantidad de

energía primaria relacionada con los edificios con fin residencial y terciario una cantidad superior a los 460 Millones de toneladas de petróleo equivalente anualmente, la gran parte de esta energía primaria proviene de fuentes de origen no renovable, como los combustibles fósiles.

Debido a que más del 75% del parque de viviendas y edificios terciarios en Europa fueron construidos antes del año 1990, no tenían la obligación de aplicación de realizar la calificación energética del edificio debido a las normativas de esa época.

Gracias a que existía una necesidad, se empezaron a realizar y a aprobar los primeros reglamentos que hacían referencia a las instalaciones térmicas de los edificios además de existir unas exigencias que atañen a los aislamientos de los mismos.

En el caso del parque anterior a la entrada en vigor de estos reglamentos, la calificación media del parque de viviendas tiene una calificación D.

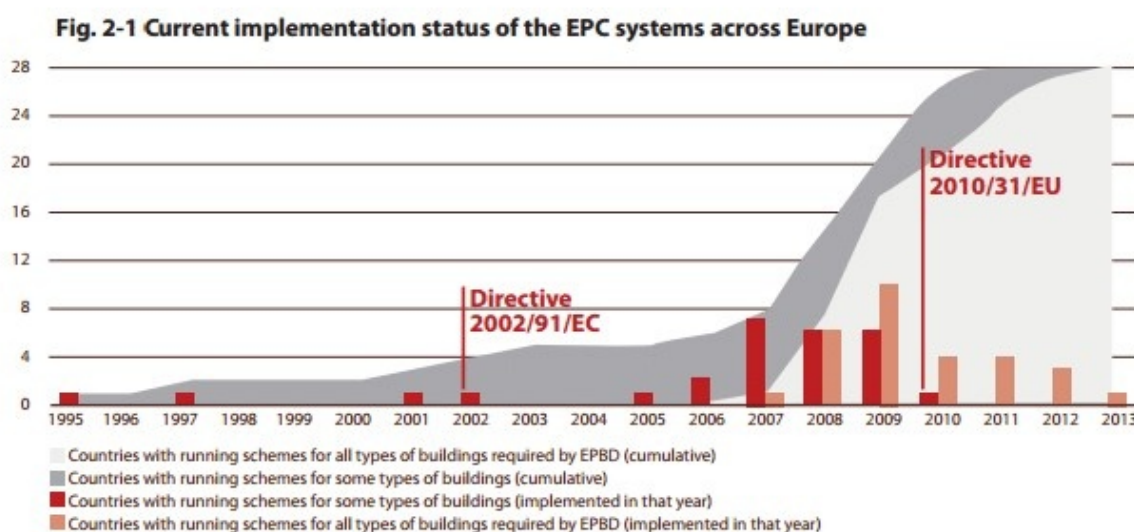


Ilustración 1.7. Implementación del certificado de eficiencia energética.

En el caso de España, cuyo parque de viviendas fue construido tras la Guerra Civil, entre 1940 y 1975 tiene una calificación media de E, por lo que el gasto dedicado en una vivienda a climatización es muy superior si se compara con otros países europeos.

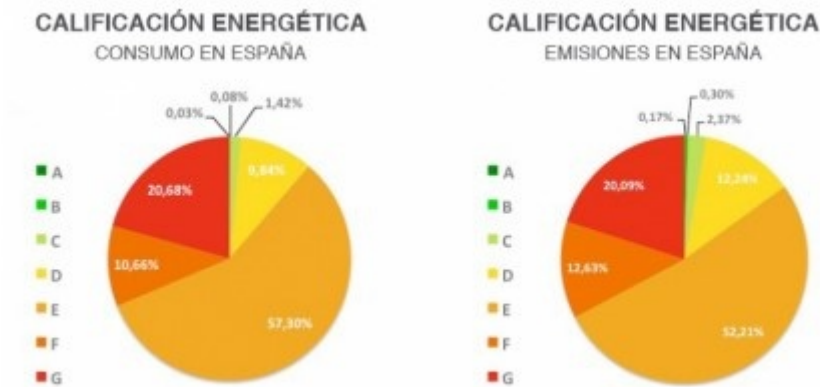


Ilustración 1.7. Calificación energética en España

Desde que entró en vigor la Directiva 2002/91/CE la Unión Europea se ha comprometido a reducir las emisiones de CO₂ mediante la mejora de la eficiencia energética de los edificios.

La certificación energética es obligatoria desde que se aprobó la directiva anteriormente mencionada, siendo el certificado energética una asignación que varia desde la letra A hasta la G, siendo la letra G la correspondiente a los edificios con una menor eficiencia.

Para la calificación energética se pueden emplear multiples programas de libre uso, en este caso se ha empleado el programa CE3X para calificar el edificio objeto de estudio, considerado como edificio terciario.



Ilustración 1.8. Escala energética

2. Anexo I. Cálculo de las cargas térmicas

Una carga térmica se entiende como cualquier variación que produce un cambio en la temperatura (seca) en el aire o en la humedad relativa de un local o recinto determinado. Esta carga se define con una unidad de potencia, ya sea kW, kCal/h, etc y es la suma de las cargas sensibles y latentes del mismo recinto.

La carga sensible es debida a la variación de la temperatura seca del aire del local, mientras que la carga latente se debe a la introducción de vapor de agua en el local o recinto definido.

El estudio de las cargas térmicas depende de múltiples factores que se deben de tener en cuenta ya que influyen en el estudio:

Las condiciones del ambiente donde se encuentra el recinto, además de otros factores que dependen de la situación del edificio donde se encuentra el recinto:

- Situación o emplazamiento del edificio, esto incluye la altitud o altura sobre el nivel del mar y la orientación que presenta.
- Geometría del edificio
- Tipo de construcción y materiales empleados, cerramientos, cubiertas, soleras o forjados
- Elementos de sombra o de huecos acristalados.
- Mes y hora del día donde la carga térmica es máxima.
- Número máximo de personas en el recinto de forma simultánea.
- Cargas internas debido a aparatos eléctricos.

La carga térmica se calcula para calefacción o refrigeración según se tenga que aportar o no calor al recinto, además este cálculo se realiza en las condiciones anteriormente indicadas más desfavorables.

Una carga térmica puede catalogarse como carga exterior o interior, además de existir cargas que presentan una inercia térmica, donde esta se empieza a acumular en el recinto, no afectando de manera inmediata, un ejemplo de este es la carga térmica debida a la radiación solar que entran por las ventanas del recinto.

Tipo de cargas	Factores	Potencia sensible	Potencia latente	Inercia térmica	Refrigeración	Calefacción
Exteriores	Ventanas y lucernarios exteriores	X		X	X	X
	Puertas exteriores	X			X	X
	Paredes exteriores	X		X	X	X
	Ventilación	X	X		X	X
	Infiltración	X	X			X
Interiores	Ventanas y lucernarios interiores	X			X	X
	Puertas interiores	X			X	X
	Paredes interiores	X		X	X	X
	Ocupación	X	X	X	X	
	Iluminación	X		X	X	
	Otras cargas	X	X		X	

Tabla 2.1. Tipos de cargas térmicas.

2.1. Cálculo y obtención de las cargas térmicas

La sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE) es considerada la entidad con mayor prestigio a nivel mundial en cuanto a la climatización se refiere.

Esta sociedad aprueba los métodos de cálculo que considera válidos para la obtención de las cargas térmicas, los cuales son:

- CLTD: Cálculo de cargas térmicas por diferencial de temperatura y factores de carga de enfriamiento.
- Función de transferencia.
- HB: Equilibrio de calor
- TETD: Valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio.

Para la realización de este proyecto se ha empleado el programa de cálculo Cype versión 2017, este programa emplea el método de función de transferencia. El potencial de este programa es que calcula de forma rápida las cargas térmicas además de tener en cuenta factores como es la radiación solar durante los 12 meses y las 24 horas del día para calcular los valores máximos de las cargas, así como el emplazamiento del edificio.

Otros de los motivos de emplear este programa es lo completo que resultan los cálculos al tener en cuenta otros factores como puede ser la ocupación del recinto, la iluminación que se emplea, la inercia térmica y las transmisiones producidas a través de los huecos y cerramientos del local o edificio.

En el caso del cálculo de las cargas de refrigeración, se tienen en cuenta las siguientes aportaciones térmicas.

2.1.1. Carga térmica aportada por la radiación solar en las paredes y techo del recinto.

La función de transferencia calcula, como se ha indicado antes, la aportación instantánea según la hora del día, ya que esta carga depende de la radiación solar recibida.

$$Q_{ganancia,t} = A \left[\sum_{n=0} b_n (t_{solaire,t-n\Delta}) - \sum_{n=1} d_n \frac{(Q_{ganancia,t-n\Delta})}{A} - t_{interior} \sum_{n=0} c_n \right]$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{ganancia,t}$ = Ganancia de calor sensible a través de las superficies interiores de las paredes o del techo [W]

A =Superficie interior del recinto[m²]

Δ =Incremento de la unidad de tiempo, en este caso es de 1 hora

$t_{interior}$ = Temperatura del recinto interior [°C]

b_n =Coeficiente perteneciente a la función de transferencia, depende del tipo de cerramiento.

c_n = Coeficiente perteneciente a la función de transferencia, dependiente del tipo de cerramiento.

$t_{solaire,t-n\Delta}$ =Temperatura sol/aire en el ambiente exterior en el instante de tiempo $t-n\Delta$ [°C]

(Fórmula 2.1)

La temperatura sol/aire corrige el efecto de la radiación solar sobre la propia superficie de los cerramientos del recinto.

$$t_{solaire} = t_{exterior} + \alpha \frac{I_{total}}{h_0} - \varepsilon \frac{\Delta R}{h_0} \cos(90 - \beta)$$

Definiéndose cada término como:

$t_{solaire}$ = Temperatura sol/aire determinada para un mes y una hora específica
[°C]

$t_{exterior}$ = Temperatura exterior de bulbo seco corregida en función del mes y la hora [°C]

I_{total} =Radiación solar incidente por unidad de superficie [W/m²]

h_0 = Coeficiente de convección exterior de los cerramientos exteriores
[W/m²°C]

α = Coeficiente de absorción de radiación solar de la superficie (depende del color de la superficie)

β =Ángulo de inclinación del cerramiento respecto de la vertical (los cerramientos horizontales tiene un ángulo de inclinación de 90°)

ε =Emitancia hemisférica de la superficie de incidencia de los rayos solares

ΔR = Diferencia de radiación de la superficie respecto de la del cuerpo negro
[W/m²]

(Fórmula 2.2)

2.1.2. Carga térmica aportada por las paredes y techo del recinto que no reciben radiación solar.

En este cálculo se tienen en cuenta las cargas térmicas a través de los cerramientos, ya sean división con otro recinto a la misma temperatura o distinta o sea con el ambiente sin recibir aportación solar.

$$Q_{ganancia,t} = k \cdot A \cdot (T_{locales} - T_{interior})$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

k = Coeficiente de transmisión de los cerramientos [W/m²°C]

A = Superficie interior de los cerramientos del recinto [m²]

$t_{locales}$ = Temperatura de los locales colindantes, si es la misma no se considera transmisión de calor [°C]

$t_{interior}$ = Temperatura del espacio interior, constante a lo largo del tiempo [°C]

(Fórmula 2.3)

2.1.3. Carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos y aberturas (puertas) hacia el exterior u otros recintos (NO SE CONSIDERA aportación debido a la radiación solar)

La carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos aberturas al exterior, sin tener en cuenta la radiación solar se caracteriza de la siguiente forma:

$$Q_{ganancia,t} = k \cdot A \cdot (T_{exterior} - T_{interior})$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

k = Coeficiente de transmisión de los acristalamientos o puertas [W/m²°C]

A = Superficie interior de los acristalamientos o puertas [m²]

$t_{exterior}$ = Temperatura del exterior debidamente corregida [°C]

$t_{interior}$ = Temperatura del espacio interior, se considera constante a lo largo del tiempo [°C]

(Fórmula 2.4)

2.1.4. Carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos y aberturas (puertas) hacia el exterior u otros recintos (SE CONSIDERA aportación debido a la radiación solar)

La carga térmica debida a la transmisión a través de los acristalamientos aberturas al exterior, considerando la radiación solar se caracteriza de la siguiente forma:

$$Q_{ganancia,t} = CoefSomb \cdot A \cdot SHGF \cdot n$$

Donde el término *SHGF*:

$$SHGF = GS_{difusa} + Ins \cdot GS_{directa}$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{ganancia,t}$ =Carga térmica instantánea de calor sensible [W]

$CoefSomb$ =Coeficiente de sombreado, determina el tipo de comportamiento térmico de un vidrio del edificio, adimensional

A = Superficie acristalada de la ventana tipo [m²]

n =Número de ventana, resultante en la superficie total acristalada.

$SHGF$ = Ganancia solar para un cristal tipo determinado [W/m²]

GS_{difusa} =Ganancia solar debida a la radiación difusa [W/m²]

$GS_{directa}$ =Ganancia solar debida a la radiación directa [W/m²]

Ins =Porcentaje de sombra de la superficie que se encuentra acristalada.

(Fórmula 2.5)

2.1.5. Carga térmica debida al calor interno (ocupación, iluminación, aparatos eléctricos y otros tipos de aparatos).**2.1.5.1. Carga térmica debida a la ocupación del recinto por personas.**

Esta carga es producida por las ocupantes del recinto, por lo que depende del número de personas y la actividad que realicen.

$$Q_{ganancia,t} = Q_s \cdot n \cdot Fd_t$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

Q_s =Carga térmica sensible por persona, depende a su vez de la actividad que realice cada una de estas [W]

n = Número de personas que se encuentren en el interior del recinto

Fd_t =Porcentaje en tanto por uno de ocupación del local para el instante t

Hay que indicar que esta carga térmica tiene una componente de calor sensible, aproximadamente del 70% debido a la radiación y un 30% debido a la convección.

(Fórmula 2.5)

2.1.5.2. Carga térmica debida a la iluminación del recinto.

Carga térmica debida a la iluminación artificial del recinto, esta variará en función del tipo de iluminación y de la cantidad de emisores en el recinto.

$$Q_{ganancia,t} = Q_{ilu} \cdot n \cdot Fd_t$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

$Q_{aparatos}$ = Carga térmica sensible por aparato, variable según el tipo de aparato eléctrico [W]

n= Numero de aparatos tipo.

Fd_t = Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t

(Fórmula 2.6)

Como ocurre con la carga térmica debida a la ocupación, esta carga se puede dividir en un calor sensible (representa el 60%) que se emite por radiación y un calor que se disipa mediante un proceso de convección (el restante 40%).

2.1.5.3. Cargas varias

Carga térmica que no es producido ni por personas, iluminación o aparatos eléctricos, esta carga térmica es proporcional al tipo de aparatos y el número de estos.

$$Q_{ganancia,t} = Q_{termicossen} \cdot n \cdot Fd_t$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

$Q_{termicossen}$ = Carga térmica sensible por aparato, varía según el tipo de aparato [W]

n = Numero de aparato tipo.

Fd_t = Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t .

(Fórmula 2.7)

$$Q_{ganancia,t} = Q_{termicoslat} \cdot n \cdot Fd_t$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica latente en el instante de tiempo t [W]

$Q_{termicoslat}$ = Carga térmica latente por aparato, varía según el tipo de aparato [W]

n = Numero de aparato tipo.

Fd_t = Porcentaje en tanto por uno de funcionamiento para el instante t .

(Fórmula 2.8)

2.1.6. Carga térmica debida al aire exterior

Carga térmica debido al aire que entra al recinto desde el exterior, la parte sensible de la carga térmica se debe al fenómeno de convección que se produce.

$$Q_{ganancia,t} = 0,34 \cdot f_a \cdot V_{aes} \cdot Fd_t \cdot (t_{ec} - t_{ai})$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

f_a =Coeficiente corrector en función de la altitud geográfica.

V_{ae} = Caudal de aire exterior introducido en el recinto, calculado según las exigencias del RITE [m³/h]

t_{ec} = Temperatura exterior seca corregida [°C]

t_{ai} = Temperatura del interior del recinto, considerándose esta como constante en el tiempo [°C]

Fd_t =Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t

(Fórmula 2.9)

La componente de la carga térmica latente se puede cuantificar con la siguiente expresión:

$$Q_{ganancia,t} = 0,83 \cdot f_a \cdot V_{aes} \cdot Fd_t \cdot (X_{ec} - X_{ai})$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica latente en el instante de tiempo t [W]

f_a = Coeficiente corrector en función de la altitud geográfica.

V_{ae} = Caudal de aire exterior que se introduce en el recinto, calculado según las exigencias del RITE [m^3/h]

X_{ec} = Humedad específica corregida del exterior [gr agua/kg aire]

X_{ai} = Humedad específica del interior del recinto [gr agua/kg aire]

Fd_t = Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t

Factor de bypass: Fracción de la carga térmica por ventilación perteneciente a la carga térmica.

(Fórmula 2.10)

2.1.7. Mayoración de la carga térmica

Se considera un factor de seguridad que incremente la carga térmica, mayorando esta.

Esta mayoración tiene alguna excepción cuando se calcula la carga térmica de refrigeración, en este caso se obvia la carga térmica debida a la transmisión en el caso de los muros y el terreno, ya que esta carga se considera favorable.

2.2. Cargas de calefacción

2.2.1. Cargas térmica debida a la radiación solar

Carga térmica instantánea producida por las transmisiones de las superficies acristaladas, lucernarios o puertas hacia el exterior pero donde existe incidencia de los rayos solares.

$$Q_{ganancia,t} = Coef \cdot k \cdot A \cdot (T_{exterior} - T_{interior})$$

Definiéndose cada término como:

$G_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

k = Coeficiente de transmisión de los acristalamientos o puertas [W/m²°C]

A = Superficie de los acristalamientos o puertas (interior) [m²]

$t_{exterior}$ = Temperatura del exterior debidamente corregida [°C]

$t_{interior}$ = Temperatura del espacio interior, constante en el tiempo [°C]

(Fórmula 2.11)

En el cálculo de las cargas térmicas de calefacción solo se tiene en cuenta la carga sensible, tampoco se tienen en cuenta los cerramientos exteriores o huecos para el cálculo de la carga debida a la radiación solar, en su lugar se emplea un factor de mayoración que varia en función de la orientación del cerramiento.

Para esto último indicado, se usa la misma expresión que la empleada para el cálculo de los cerramientos exteriores sin incidencia solar, donde los factores de mayoración son:

Norte	Este	Sur	Oeste
20%	10%	0%	10%

Tabla 2.2. Factores de mayoración.

2.2.2. Cargas térmica debida a la aportación solar en paredes y techo

Carga térmica instantánea asociada a la transmisión de calor entre el recinto y los espacios colindantes, a través de los cerramientos opacos.

$$Q_{ganancia,t} = k \cdot A \cdot (T_{locales} - T_{interior})$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{ganancia,t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

k=Coeficiente de transmisión de los cerramientos [W/m²°C]

A=Superficie de los cerramientos (interior) [m²]

$T_{locales}$ = Temperatura de los locales colindantes, solo se consideran locales con distinta temperatura[°C]

$T_{interior}$ = Temperatura del recinto, considerada constante [°C]

(Fórmula 2.12)

En este caso si se tienen en cuenta los muros que se encuentran bajo rasante, suponiéndose la temperatura del terreno en función de la del exterior.

Temp. Exterior (°C)	<-2	0	3	5	>10
Temp. Terreno (°C)	5	6	7	8	12

Tabla 2.3. Temperatura del terreno en función de la temperatura exterior.

2.2.3. Cargas térmica a través de los acristalamientos o puertas exteriores

Carga térmica debida a la transmisión de calor a través de las superficies acristaladas al exterior o puertas, pero donde no hay incidencia solar.

$$Q_{\text{ganancia,t}} = k \cdot A \cdot (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}})$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{\text{ganancia,t}}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

k =Coeficiente de transmisión de los acristalamientos o puertas [W/m²°C]

A =Superficie de los acristalamientos o puertas (interior) [m²]

T_{exterior} = Temperatura del exterior (corregida) [°C]

T_{interior} = Temperatura del espacio interior, considerada constante [°C]

(Fórmula 2.13)

2.2.4. Cargas térmica debida al calor interno (ocupación, iluminación, aparatos eléctricos y otros tipos de aparatos)

En el cálculo de las cargas térmicas de calefacción, no se tiene en cuenta la carga térmica debida a la ocupación, iluminación u otras cargas ya que son consideradas aportaciones positivas por lo que disminuyen la carga térmica que debería de compensar el equipo de climatización que se instalase.

2.2.5. Cargas térmica debida al aire exterior

Carga térmica debida al aire exterior que se introduce en el recinto, en este caso solo se debe de tener en cuenta la componente sensible del aire introducido, debido al fenómeno de convección.

$$Q_{\text{ganancia},t} = 0,34 \cdot f_a \cdot V_{\text{aes}} \cdot Fd_t \cdot (t_{\text{exterior}} - t_{\text{interior}})$$

Definiéndose cada término como:

$Q_{\text{ganancia},t}$ = Carga térmica sensible en el instante de tiempo t [W]

f_a =Coeficiente corrector en función de la altitud geográfica.

V_{ae} = Caudal de aire exterior introducido en el recinto, en función de la exigencia indicada en el RITE [m³/h]

t_{exterior} = Temperatura exterior seca corregida [°C]

t_{interior} = Temperatura del interior del recinto, considerada constante[°C]

Fd_t =Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t

X_{ai} = Humedad específica del interior del recinto [gr agua/kg aire]

Fd_t =Porcentaje (tanto por uno) de funcionamiento para el instante t

Factor de bypass: Fracción de la carga térmica por ventilación perteneciente a la carga térmica.

(Fórmula 2.14)

2.2.6. Porcentaje de mayoración

Se considera un factor de seguridad que incremente la carga térmica, mayorando esta. Esto incluye además la propia carga térmica de la instalación de climatización.

2.3. Resultados de las cargas térmicas

Refrigeración		
Conjunto	Potencia por superficie (W/m ²)	Potencia total (W)
Distribuidores	63.9	86297.8
Habitaciones	46.6	61655.4
Servicio	80.2	35743.8
Cafetería y comedor	202.7	166674.8

Calefacción		
Conjunto	Potencia por superficie (W/m ²)	Potencia total (W)
Baños y aseos	115.5	57125.2
Distribuidores	121.6	164206.5
Habitaciones	113.2	149659.2
Servicio	103.3	46052.4
Cafetería y comedor	182.4	149930.3

Ilustración 2.4. Carga térmicas del edificio objeto de estudio.

3. Anexo II. Exigencias y cumplimientos básicos del ahorro de energía

3.1. Introducción

En el segundo anexo se contempla el fin último u objetivo del proyecto realizado, el cual es el ahorro de energía en un edificio, de manera literal indica:

“El DB-HE obliga a que los edificios se proyecten para un consumo reducido de energía y que este se satisfaga, en gran medida, mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables, con el objetivo de mitigar el cambio climático y reducir la dependencia e intensidad del uso de energía del país.”

Se ha tomado como base el Documento Básico, Ahorro de energía (DB HE) el cual contempla múltiples capítulos internos los cuales son los:

- HE 0 Limitación del consumo energético
- HE 1 Limitación de la demanda energética
- HE 2 Rendimiento de las instalaciones térmicas
- HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
- HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Aplicando las exigencias básicas indicadas en cada capítulo se obtiene el cumplimiento de este documento básico.

3.2. Justificación del Documento Básico: Ahorro de energía

Se debe de valorar primero si el proyecto que se está realizando se encuentra dentro del ámbito de aplicación del documento de básico: Ahorro de energía.

3.2.1. Ámbito de aplicación

En el Documento Básico: Ahorro de energía, el capítulo HE-1 nos indica los ámbitos de aplicación los cuales son los siguientes:

- a) Edificios de nueva construcción;
- b) Intervenciones en edificios existentes:
 - Ampliación: aquellas en las que se incrementa la superficie o el volumen construido;
 - Reforma: cualquier trabajo u obra en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio;
 - Cambio de uso.

Excluyéndose del ámbito de aplicación los siguientes casos:

- a) Los edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.
- b) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- c) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.
- d) Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m².
- e) Edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente.
- f) Cambio del uso característico del edificio cuando este no suponga una modificación de su perfil de uso.

En este caso al ser un parador se considera un edificio que entra dentro del ámbito de aplicación de la HE-1.

3.2.2. Caracterización de la exigencia

Las características de las exigencias están indicadas en el documento HE-1 las cuales son, extraídas de la propia norma, las siguientes:

- Para controlar la demanda energética, los edificios dispondrán de una envolvente térmica de características tales que limite las necesidades de energía primaria para alcanzar el bienestar térmico, en función del régimen de verano y de invierno, del uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, del alcance de la intervención.
- Las características de los elementos de la envolvente térmica en función de su zona climática de invierno, serán tales que eviten las descompensaciones en la calidad térmica de los diferentes espacios habitables.
- Las particiones interiores limitarán la transferencia de calor entre las distintas unidades de uso del edificio, entre las unidades de uso y las zonas comunes del edificio, y en el caso de las medianerías, entre unidades de uso de distintos edificios.
- Se limitarán los riesgos debidos a procesos que produzcan una merma significativa de las prestaciones térmicas o de la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica, tales como las condensaciones.

3.2.3. Justificación del cumplimiento de la exigencia

El cumplimiento de la exigencia básica indicada en el documento HE-1 se tiene en cuenta en base a los siguientes factores indicados en el mismo.

- a) La definición de la localidad y de la zona climática de ubicación.
- b) La compacidad (V/A) del edificio o parte del edificio.
- c) El esquema geométrico de definición de la envolvente térmica
- d) La caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica (cerramientos opacos, huecos y puentes térmicos), así como los valores límite de los parámetros que resulten aplicables.
- e) La caracterización geométrica, constructiva e higrotérmica de los elementos afectados por la comprobación de la limitación de descompensaciones, así como los valores límite que les correspondan;
- f) Las características técnicas mínimas que deben reunir los productos que se incorporen a las obras y sean relevantes para el comportamiento energético.
- g) En edificios nuevos de uso residencial privado, la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa (n50).

La verificación del cumplimiento de la exigencia de limitación de condensaciones. Documento Básico HE Ahorro de energía HE

3.2.4. Solicitaciones para el cálculo de la demanda

El cálculo de la demanda energética del edificio objeto de estudio necesita la introducción de una serie de datos o valores, las cuales son:

Zona climática del edificio: Necesario para determinar la demanda térmica del mismo, en el DB HE-1 se puede encontrar en el apéndice B la tabla con las zonas climáticas en las que se divide España, en estas zonas se considera que el clima es igual y uniforme en términos de temperatura e incidencia solar.

Altitud sobre el nivel del mar (h)																											
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m			
Albacete	C3									D3									E1								
Alicante/Alacant	B4				B4				C3				C3				D3										
Almería	A4		B4			B3			C3				C3				D3										
Araba/Álava	D1											E1															
Asturias	C1	D1									E1																
Ávila	D2											D1				E1											
Badajoz	C4								C3		D3																
Balears, Illes	B3				C3												E1										
Barcelona	C2				D2				D1				E1														
Bizkaia	C1				D1												E1										
Burgos	D1											E1															
Cáceres	C4											D3				D2				E1							
Cádiz	A3			B3			C3				C2				D2				E1								
Cantabria	C1		D1									E1															
Castellón/Castelló	B3		C3						D3		D2						E1										
Ceuta	B3																										
Ciudad Real	C4								C3		D3																
Córdoba	B4		C4						D3																		
Coruña, A	C1				D1												E1										
Cuenca	D3									D2				E1													
Gipuzkoa	D1									E1																	
Girona	C2		D2				E1																				
Granada	A4		B4			C4				C3				D3				E1									
Guadalajara	D3											D2				E1											
Huelva	A4		B4		B3			C3				D3															
Huesca	C3			D3			D2				E1																
Jaén	B4					C4				D3				E1													
León	E1																										
Lleida	C3		D3						E1																		
Lugo	D1											E1															
Madrid	C3											D3				D2		E1									
Málaga	A3		B3			C3										D3											
Melilla	A3																										
Murcia	B3		C3						D3				E1														
Navarra	C2		D2			D1				E1																	
Ourense	C3			C2			D2						E1														
Palencia	D1											E1															
Palmas, Las	α3								A2				B2				C2										
Pontevedra	C1								D1																		
Rioja, La	C2		D2						E1																		
Salamanca	D2											E1															
Santa Cruz de Tenerife	α3								A2				B2				C2										
Segovia	D2											E1															
Sevilla	B4				C4												E1										
Soria	D2											D1		E1													
Tarragona	B3		C3						D3																		
Teruel	C3									C2		D2						E1									
Toledo	C4											D3				E1											
Valencia/València	B3		C3						D2				E1														
Valladolid	D2											E1															
Zamora	D2											E1															
Zaragoza	C3				D3								E1														
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m			

Tabla 3.1. Zonas climáticas de España

En nuestro edificio objeto, considerando una altitud de 800 metros sobre el nivel del mar, la zona climática es C4.

3.2.5. Características generales el cálculo de la demanda

El cálculo de la demanda energética requiere de la introducción de los siguientes datos, indicados en la memoria del reporte de la demanda energética, de manera literal:

“La metodología cumple con los requisitos impuestos en el capítulo 5 de CTE DB HE 1, al considerar los siguientes aspectos:

- El diseño, emplazamiento y orientación del edificio;*
- La evolución hora a hora en régimen transitorio de los procesos térmicos;*
- El acoplamiento térmico entre zonas adyacentes del edificio a distintas temperaturas;*
- Las solicitudes interiores, solicitudes exteriores y condiciones operacionales especificadas en los apartados 4.1 y 4.2 de CTE DB HE 1, teniendo en cuenta la posibilidad de que los espacios se comporten en oscilación libre;*
- Las ganancias y pérdidas de energía por conducción a través de la envolvente térmica del edificio, compuesta por los cerramientos opacos, los huecos y los puentes térmicos, con consideración de la inercia térmica de los materiales;*
- Las ganancias y pérdidas producidas por la radiación solar al atravesar los elementos transparentes o semitransparentes y las relacionadas con el calentamiento de elementos opacos de la envolvente térmica, considerando las propiedades de los elementos, su orientación e inclinación y las sombras propias del edificio u otros obstáculos que puedan bloquear dicha radiación;*
- Las ganancias y pérdidas de energía producidas por el intercambio de aire con el exterior debido a ventilación e infiltraciones teniendo en cuenta las exigencias de calidad del aire de los distintos espacios y las estrategias de control empleadas. Permitiendo, además, la obtención separada de la demanda energética de calefacción y de refrigeración del edificio.”*

3.2.6. Modelado del edificio

El modelado del edificio se ha realizado con el programa Cype el cual nos permite exportar posteriormente a otros programas como son los de calificación energética.

Una vez definido el edificio, con sus cerramientos, recintos, huecos, etc podremos calcular la demanda de energía del mismo.

Durante el modelado del edificio, se obtiene el edificio con el que se comparará el nuestro, el de referencia.

Este edificio presenta el mismo tamaño, forma, orientación, recintos internos y unas soluciones constructivas y parámetros considerados en el Documento Básico HE Ahorro de energía: Anejo D Condiciones operacionales y perfiles de uso.

3.2.7. Zonificación del edificio

El edificio se tiene que clasificar en zonas térmicas que servirán posteriormente para clasificar según las condiciones de demanda e intensidad de las cargas (solicitaciones interiores), según el ANEJO D del Documento Básico Ahorro de Energía.

Estas zonas son las siguientes:

- Habitaciones del hotel
- Baños
- Distribuidores o pasillos
- Recepciones y oficinas
- Restaurantes y cafeterías
- Cocina

3.3. Obtención de datos

3.3.1. Método de cálculo de la demanda energética

Como se expresa literalmente en el reporte del cálculo de la demanda energética, donde se indica el procedimiento de cálculo:

“El procedimiento de cálculo empleado consiste en la simulación anual de un modelo zonal del edificio con acoplamiento térmico entre zonas, mediante el método completo simplificado en base horaria de tipo dinámico descrito en UNE-EN ISO 13790:2011, cuya implementación ha sido validada mediante los tests descritos en la Norma EN 15265:2007 (Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures). Este procedimiento de cálculo utiliza un modelo equivalente de resistencia-capacitancia (R-C) de tres nodos en base horaria. Este modelo hace una distinción entre la temperatura del aire interior y la temperatura media radiante de las superficies interiores (revestimiento de la zona del edificio), permitiendo su uso en comprobaciones de confort térmico, y aumentando la exactitud de la consideración de las partes radiantes y convectivas de las ganancias solares, luminosas e internas.”

3.3.2. Porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto del edificio de referencia.

Este porcentaje de ahorro solo se ha podido conseguir teniendo en cuenta el factor de la recuperación de calor producido por los recuperadores de calor.

Esto es necesario ya que en el proyecto se ha supuesto que los caudales de ventilación de los recintos como cafeterías, oficinas, recepción, restaurantes o habitaciones de hotel son el doble que los determinados en el RITE, con objetivo de aumentar las renovaciones del aire del recinto, todo esto debido a la situación actual de Covid-19.

$$\%AD = 100 \cdot (D_{G,ref} - D_{G,obj}) / D_{G,ref} = 100 \cdot (204.8 - 149.5) / 204.8 = \mathbf{27.0 \%} \geq$$

$$\%AD_{exigido} = \mathbf{25.0 \%}$$

$\%AD$: Porcentaje de ahorro de la demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración respecto al edificio de referencia.

$\%AD_{exigido}$: Porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos en zona climática de verano **4** y **Baja** carga de las fuentes internas del edificio, (tabla 2.2, CTE DB HE 1), **25.0 %**.

$D_{G,obj}$: Demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración del edificio objeto, calculada como suma ponderada de las demandas de calefacción y refrigeración, según $D_G = D_C + 0.7 \cdot D_R$, en territorio peninsular, kWh/m²·año.

$D_{G,ref}$: Demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración del edificio de referencia, calculada en las mismas condiciones de cálculo que el edificio objeto, obtenido conforme a las reglas establecidas en el Apéndice D de CTE DB HE 1 y el documento 'Condiciones de aceptación de programas alternativos a LIDER/CALENER'.

3.3.3. Estudio del balance anual de energía del edificio objeto de estudio

La siguiente gráfica de barras muestra el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica al exterior a través de elementos pesados y ligeros ($Q_{tr,op}$ y $Q_{tr,w}$, respectivamente), la energía involucrada en el acoplamiento térmico entre zonas ($Q_{tr,ac}$), la energía intercambiada por ventilación (Q_{ve}), la ganancia interna sensible neta ($Q_{int,s}$), la ganancia solar neta (Q_{sol}), el calor cedido o almacenado en la masa térmica del edificio (Q_{edif}), y el aporte necesario de calefacción (Q_H) y refrigeración (Q_C).

Han sido realizadas dos simulaciones de demanda energética, correspondientes al edificio objeto de proyecto y al edificio de referencia generado en base a éste, conforme a las reglas establecidas para la definición del edificio de referencia (Apéndice D de CTE DB HE 1 y documento 'Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER'). Con objeto de comparar visualmente el comportamiento de ambas modelizaciones, la gráfica muestra también los resultados del edificio de referencia, mediante barras más estrechas y de color más oscuro, situadas a la derecha de los valores correspondientes al edificio objeto.

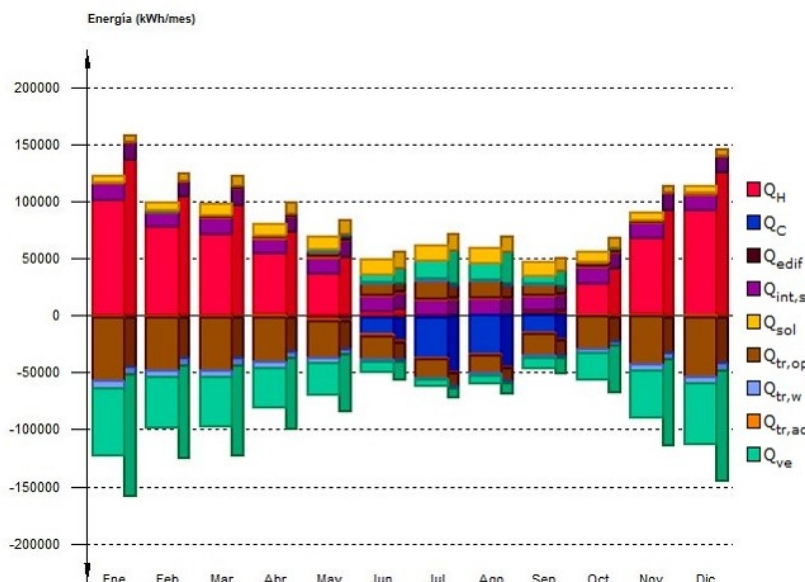


Ilustración 3.2. Balance energético anual del edificio objeto

Pudiendo definirse cada una de las transferencias de calor como:

- $Q_{tr,op}$: Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/(m²·año).
- $Q_{tr,w}$: Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/(m²·año).
- $Q_{tr,ac}$: Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica debida al acoplamiento térmico entre zonas, kWh/(m²·año).
- Q_{ve} : Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/(m²·año).
- $Q_{int,s}$: Transferencia de calor correspondiente a la ganancia de calor interna sensible, kWh/(m²·año).
- Q_{sol} : Transferencia de calor correspondiente a la ganancia de calor solar, kWh/(m²·año).
- Q_{edif} : Transferencia de calor correspondiente al almacenamiento o cesión de calor por parte de la masa térmica del edificio, kWh/(m²·año).
- Q_H : Energía aportada de calefacción, kWh/(m²·año).
- Q_C : Energía aportada de refrigeración, kWh/(m²·año).
- Q_{HC} : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/(m²·año).

Ilustración 3.3. Denominación de las aportaciones y transferencias de calor

4. Anexo III. Instalación de climatización

4.1. Obtención de datos

En este anexo se trata como el programa CYPE ha realizado el cálculo de las conducciones, tanto de agua como de aire en el sistema de climatización implantando en el edificio objeto del estudio.

En los edificios que comprenden el sector terciario o servicios, la mayor parte de ellos, tienen implantado un sistema de conducción de agua denominado “de 4 tubos”, en este sistema tendremos:

- Tubería de impulsión de agua fría hacia la máquina interior
- Tubería de impulsión de agua caliente hacia la máquina interior
- Tubería de retorno de agua fría desde la máquina interior
- Tubería de retorno de agua caliente desde la máquina interior.

El hecho de tener una conducción de agua caliente y agua fría a la vez se debe a que existe una demanda común tanto de refrigeración como de calefacción ya que suelen ser edificios grandes y que presentan una parte con orientación hacia el sur y otra parte hacia el norte por lo que es normal que en las estaciones de primavera y otoño exista una demanda de agua fría para los recintos que estén recibiendo una mayor incidencia solar mientras que en los recinto donde no hay este tipo de aportación exterior se demande agua caliente para la calefacción.

Este entramado de tuberías, ya sea de agua fría o caliente, llegan a un emisor, que puede ser un fancoil o una máquina que impulsará aire por un sistema de conducción de aire, en este caso a través de conductos (cuadrados, rectangulares o redondos) y este aire descargará a su vez mediante unos difusores o rejillas instalados.

En este caso se siguen las directrices que se encuentran en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

4.2. Sistema de distribución de agua en climatización

4.2.1. Introducción

Existen varios métodos de dimensionamiento de sistemas de distribución de agua pero existe uno basado en las ecuaciones de Colebrook el cual su uso está mucho más extendido.

Este método de dimensionamiento define un diámetro válido de tubería teniendo en cuenta el valor máximo de velocidad en cada uno de los tramos definidos en la instalación de distribución de agua también se tiene en cuenta la inclinación o pendiente máxima.

En el cálculo de conducciones hay que tener en cuenta el factor de pérdida de presión debido a la rugosidad relativa que depende del material del que esté compuesto la tubería (o la capa interna en contacto con el fluido) y el diámetro del tubo. La rugosidad absoluta depende del material y tiene como magnitud los milímetros.

En este sistema de distribución se han empleado tuberías de polipropileno (PP-RCT) el cual tiene una rugosidad absoluta de 0,007 [mm]. Este material presenta ventajas como:

- Menor espesor de pared
- Mayor tasa de flujo para el mismo diámetro
- Mayor resistencia a altas temperaturas y a la presión
- Peso reducido debido a su menor espesor de pared.

4.2.2. Cálculo de la caída de presión en los tramos de la conducción

El cálculo de la caída de presión realizado por el programa de cálculo CYPE emplea varios modelos a elegir, en este caso se ha optado por el de Darcy-Weisbach.

Existen otras fórmulas como son Colebrook-White, Hazen-Williams o Bazin entre otros.

La ecuación de Darcy-Weisbach define la pérdida de carga como:

$$h_p = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

Definiéndose cada término como:

h_p = Pérdida de carga [m.c.a]

f = Factor de fricción (adimensional)

L = Longitud resistente de la conducción [m]

Q = Caudal que circula por la conducción [m³/s]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

D = Diámetro interior de la conducción [m]

(Fórmula 4.1)

En esta fórmula existe un término adimensional, denominado como factor de fricción que se obtiene mediante una ecuación (ecuación de Reynolds) la cual tiene una salida que es el valor del número de Reynolds.

El número de Reynolds es la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza viscosas del fluido en el interior de la conducción, se puede caracterizar mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Definiéndose cada término como:

V= Velocidad del fluido en la conducción [m/s]

D= Diametro interior de la conducción [m]

ν = Viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

(Fórmula 4.2)

El fluido empleado es agua, por lo que un valor de Reynolds menor de 2000 significa que se encuentra en régimen laminar y las fuerzas viscosas son altas, mientras que si se obtiene un valor superior de 4000 el agua se encontrará en régimen turbulento deduciéndose que o bien la velocidad es elevada o las fuerzas de inercia son altas, en este régimen se debe de tener en cuenta la rugosidad de la tubería que transporta el agua.

Entre valores de Reynolds comprendidos entre 2000 y 4000 se encuentra la zona de transición.

Para disminuir las pérdidas de carga debido a la rugosidad de la conducción, el fluido (agua) se transporta en régimen turbulento.

El factor de fricción indicado anteriormente se puede obtener de la siguiente fórmula, denominada de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Definiéndose cada término como:

f = Factor de fricción (adimensional)

ε = Rugosidad superficial [mm]

D = Diámetro interior de la conducción [mm]

Re = Numero de Reynolds (adimensional)

(Fórmula 4.3)

El primer término del logaritmo se desprecia si se usan tuberías lisas ya que la rugosidad superficial respecto del diámetro es muy pequeña.

Si el número de Reynolds es muy alto se desprecia el segundo término, por lo tanto el factor de fricción (f) variará en función del diámetro interior de la tubería y de la rugosidad superficial de la misma.

La obtención de un valor válido requiere de un método iterativo por lo que requiere mucho tiempo, para facilitar esta tarea de cálculo se emplea el Diagrama de Moody.

4.3. Sistema de distribución de aire, elementos difusores.

4.3.1. Introducción

Para poder distribuir de forma uniforme el aire por el edificio objeto se emplean conductos los cuales tienen una salida que da hacia el interior de los recintos, esta salida es un difusor que tiene una función de distribución homogénea, sin que resulte molesto para los ocupantes.

Una de las características de estos elementos difusores es la potencia sonora y la pérdida de carga que poseen.

La potencia sonora es una característica muy importante, especialmente al ser un parador de turismo el edificio objeto de este proyecto.

La potencia sonora es inversamente proporcional al tamaño del difusor, por lo que para tener un menor nivel de ruido en el recinto, tendremos que elegir un difusor mayor, aumentando el precio entonces.

El ruido de un difusor proviene de 3 fuentes:

- Ruido debido al roce de los elementos mecánicos internos.
- Ruido debido a la rotación de las aspas del difusor.
- Ruido proveniente del propio aire impulsado, el cual se topa con el resto de elementos de la instalación.

La potencia sonora máxima que se ha establecido en las habitaciones del Parador de Turismo es de 30 db mientras que en el resto de recintos es de 45 db.

Como se ha mencionado anteriormente, la pérdida de carga es otra de las características más importantes y ocurre lo mismo que con la potencia sonora, es inversamente proporcional, por lo que a un difusor mayor, menor pérdida de carga, pero mayor precio.

Esto nos indica que si se quieren mejorar las prestaciones a nivel de ruido en los recintos y de pérdida de carga en los elementos, tendremos que incorporar mayores equipos con el consiguiente aumento de presupuesto.

4.4. Sistema de distribución de aire, conductos.

4.4.1. Introducción

Para poder distribuir el aire desde los equipos como se emplean los sistemas de conductos que permiten conducir el aire de forma separada, el circuito de impulsión que comprende el flujo de aire introducido por las rejillas hasta que se introduce el recinto y el circuito de retorno que procede del aire del recinto y es conducido hasta el exterior del edificio.

Ambos flujos, extracción e impulsión son forzados, mediante ventiladores.

Estos 2 flujos pasan por un recuperador de calor, donde los dos flujos intercambian calor para reducir la demanda de calefacción o refrigeración necesaria, pero sin mezclarse.

También existe la posibilidad de realizar un bypass, donde una parte del flujo que se extrae se mezcla con el flujo de aire que se introduce.

En este caso, no se va contemplar esta opción debido a la situación del Covid-19.

4.4.2. Método de dimensionamiento de los conductos

Dimensionar los conductos de la instalación se puede realizar mediante dos métodos:

- Pérdida de carga constante
- Ganancia estática

El primer método es el escogido para realizar el cálculo de los conductos, donde se realiza el dimensionamiento del tramo inicial, con un valor límite de velocidad de 7,5 m/s.

En el resto del circuito se tiene en cuenta que la pérdida de presión estática es la que habría en la recuperación estática que se origina cuando se disminuye la velocidad del flujo en el conducto, de esta manera se disminuye la presión dinámica

del aire y se produce un incremento de la presión estática, siendo esta presión estática constante en todo el circuito.

Las conducciones del sistema son de lana mineral para los rectangulares y de chapa galvanizada para los conductos circulares.

Materiales	Valores de rugosidad absoluta (mm)
Fibra de vidrio	0.9
Chapa galvanizada	0.1

Tabla 4.1. Rugosidad absoluta de los materiales empleados.

4.4.3. Pérdida de presión en los conductos.

En los conductos que circula un fluido siempre existirán unas pérdidas de presión, en este caso hay que añadir que a diferencia con el agua, el aire es un fluido compresible.

Estas pérdidas se pueden expresar mediante la fórmula indicada en el manual de Cype.

$$D_e = \frac{1,3 \cdot (a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}}$$

Definiéndose cada término como:

De= Diámetro equivalente para los conductos rectangulares [mm]

a= Anchura del conducto [mm]

b= Altura del conducto [mm]

(Fórmula 4.4)

Existen otras pérdidas debidos a los elementos de las conducciones como son los codos, cambios de sección, colas de milano, etc. Estas pérdidas dependen la unión, apareciendo reflejadas en libros de asociaciones de renombre como los de la ASHRAE.

$$C = \frac{\Delta p_j}{\rho \cdot V^2 / 2} = \frac{\Delta p_j}{p_v}$$

Definiéndose cada término como:

C= Coeficiente de perdidas locales

Δp_j = Pérdida de presión total [Pa]

ρ = Densidad [kg/m³]

V= Velocidad [m/s]

p_v = Presión dinámica [Pa]

(Fórmula 4.5)

La pérdida de presión total se obtiene empleando la ecuación de Darcy-Weisbach, en este caso reformulada para emplearse con los conductos.

$$\Delta p = \left(\frac{1000 \cdot f \cdot L}{D_h} + \sum C \right) \cdot \left(\frac{\rho \cdot V^2}{2} \right)$$

Definiéndose cada término como:

f= Factor de fricción

L= Longitud del conducto [m]

Dh= Diametro equivalente del conducto [m]

ρ = Densidad [kg/m³]

V= Velocidad [m/s]

(Fórmula 4.6)

5. Anexo IV. Calificación energética del edificio

5.1. Introducción

Como se indica en el Real Decreto 564/2017 por el cual se modifica el Real Decreto 235/2013 se debe de realizar la certificación y calificación energética de aquellos edificios incluidos en el ámbito de aplicación del mismo.

En el Boletín Oficial del Estado (BOE) núm. 89, de 13 de abril de 2013 Referencia: BOE-A-2013-3904 se indica el ámbito de aplicación el cual no define claramente que un parador turístico deba de realizar la certificación energética, pero en el Capítulo III Etiqueta de Eficiencia Energética se indica lo siguiente en el Artículo 13 Obligación de exhibir la etiqueta de eficiencia energética en edificios:

“1. Todos los edificios o unidades de edificios de titularidad privada que sean frecuentados habitualmente por el público, con una superficie útil total superior a 500 m², exhibirán la etiqueta de eficiencia energética de forma obligatoria, en lugar destacado y bien visible por el público, cuando les sea exigible su obtención.”

Por lo cual se deberá de obtener la etiqueta de eficiencia energética en este proyecto.

5.2. Certificación de eficiencia energética

La certificación energética es una calificación otorgada a los edificios en función de las instalaciones de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, agua caliente sanitaria o emisiones de dióxido de carbono debido a las instalaciones mismas.

Esta certificación depende también de la solución constructiva del edificio objeto de estudio así como de las demandas energéticas y del consumo.

Una vez realizada la certificación, se obtendrá la etiqueta de eficiencia energética la cual muestra la calificación obtenida.

Esta calificación puede variar entre el valor de máxima eficiencia energética, representado por la letra “A” y la peor calificación energética posible, representada por la letra “G”.

Además de todo esto la etiqueta muestra información adicional, la más relevante es:

- Consumo de energía [kWh/m²año]
- Emisiones de CO₂ [kgCO₂/m²año]
- Normativa vigente en el momento de la construcción o rehabilitación del edificio.

5.3. Obtención de la calificación energética mediante CE3X.

5.3.1. Datos introducidos

En el proceso de certificación energética se debe de introducir una serie de datos necesarios:

- Datos administrativos como referencia catastral, datos del cliente o datos del técnico certificador.
- Datos de la envolvente térmica
 - Cubierta
 - Cerramientos exteriores
 - Particiones interiores
 - Suelo o solera
 - Huecos
 - Puentes térmicos
- Datos de las instalaciones del edificio
 - Instalación de refrigeración
 - Instalación de calefacción
 - Aire primario
 - Iluminación
 - Agua caliente sanitaria

5.3.2. Calificación energética del edificio objeto

Una vez se hayan introducido los datos necesarios, se puede proceder a calcular y obtener la calificación energética del edificio

La calificación energética del edificio es la siguiente:

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
 < 43.2 A 43.2-70.2 B 70.2-108.0 C 108.0-145.4 D 140.4-172.8 E 172.8-216.0 F ≥ 216.0 G	104.0 C	CALEFACCIÓN		ACS			
		Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]	B	Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]	G		
		45.43		8.07			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
		Emisiones globales [kgCO₂/m² año]		Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]	B	Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]	G
				6.44		44.08	

Ilustración 5.1. Calificación energética del edificio objeto.

El indicador obtenido es la calificación energética “C” y significa que hay una emisión de 75,1 kgCO₂/m²año.

Este indicador a su vez presenta indicadores parciales, los más importantes son:

- Demanda de calefacción: Calificación “C” con una emisión de 190.4 kWh/m²
- Demanda de refrigeración: Calificación “C” con una emisión de 35.1 kWh/m²
- Emisión de calefacción: Calificación “C” con una emisión de 62.5 kgCO₂/m²año.
- Emisión de iluminación: Calificación “G” con una emisión de 44.08 kgCO₂/m²año.

Además, mencionar el consumo de energía primaria no renovable, aquella energía consumida por el edificio procedente de fuentes que no han sufrido ningún proceso de conversión o transformación, con una calificación de “D” y un valor de 512.3 kWh/m²año.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
	512.3 D	CALEFACCIÓN		ACS			
		Energía primaria calefacción [kWh/m² año]	B	Energía primaria ACS [kWh/m² año]	G		
		175.97		38.12			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
		Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]		Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]	B	Energía primaria iluminación [kWh/m² año]	G
				38.01		260.24	

Ilustración 5.2. Indicador global del consumo de energía primaria no renovable.

5.3.3. Mejora de la calificación energética realizada

El fin último de este proyecto es el de implementar una mejora en el edificio objeto de estudio con el fin de mejorar la calificación energética del mismo.

Para ello se ha optado por una medida de mejora que se basa en el empleo de biomasa para la cogeneración, evitando así consumir gasóleo para cubrir la demanda de energía primaria de calefacción, además de producir así electricidad para la iluminación la cual se va a reducir su consumo al sustituir la iluminación de emisores halógenos por iluminación led.

La calificación energética obtenida al incorporar estas medidas es:



Ilustración 5.3 Calificación energética global tras aplicación de medidas de mejora.

El mayor ahorro que se produce con estas mejoras es en el consumo de energía primaria no renovable y de emisiones de CO₂ en la instalación de calefacción.

- Ahorro de energía primaria no renovable [kWh/m²año]: 95.7%
- Ahorro de emisiones de CO₂ [kgCO₂/m²año]: 91.2%

En el caso de la mejora en la iluminación, con la sustitución de incandescentes halógenos por LEDS se consigue reducir la potencia instalada por unidad de superficie.

En el caso del edificio objeto de estudio, la potencia era de 37.54 W/m² mientras que con la mejora implantada es de 8.77 W/m².

6. Anexo V. Estudio de cogeneración

6.1. Introducción

La producción de electricidad a partir de fuentes renovables está regulada desde 1980, aunque es en el RD 2.366/1994, de 9 de diciembre, cuando se menciona la biomasa como tal para producción de electricidad.

Se ha empleado como base para este anexo el documento *“Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración”* del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA)

La finalidad de este último anexo es el de realizar el estudio de la sustitución de la caldera de gasóleo convencional instalada en el edificio objeto del estudio por un equipo de cogeneración.

Estos equipos se caracterizan por producir de forma combinada calor y electricidad y pueden emplear algún combustible convencional como gasóleo, gas natural, etc.

Lo que se pretende es sustituir el empleo de combustibles fósiles por biomasa la cual procede de fuentes muy variadas actualmente, se puede mencionar la biomasa bruta como aquella la cual se recibe tal y como se recoge del campo, ya sea madera, ramas, astillas, etc o biomasa transformada mediante algún proceso que incluye cambio químico en la materia o el empleo de calor para obtener productos como son el gas sintético o biogás (obtenido de la materia orgánica).

La energía procedente del combustible se puede transformar mediante el empleo de motores o de turbinas, lo que manifiesta una evolución notable respecto del uso de la biomasa que se tenía hace unos años, donde directamente se quemaba la biomasa bruta, ahora tenemos la posibilidad de emplear distintos equipos y tecnologías que permiten reducir el consumo de combustibles fósiles.

La intención de este proyecto es el de aprovechar la situación respecto de los cultivos empleados en esta provincia por lo que se plantea el empleo de biomasa como combustible para el equipo de cogeneración, en concreto el hueso de aceituna.

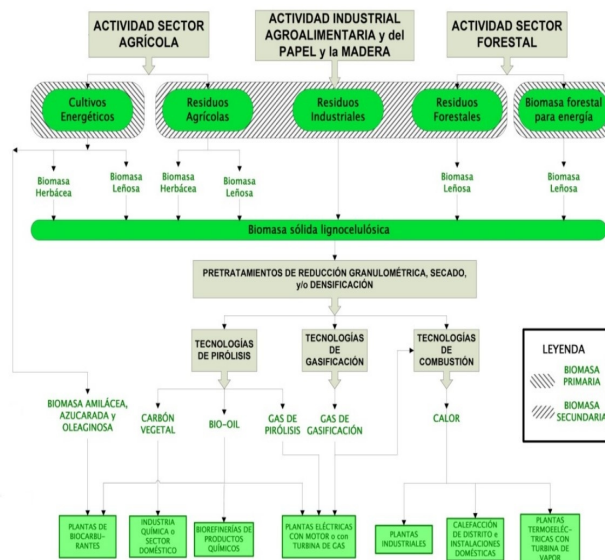


Ilustración 6.1. Procedencia y empleo de la biomasa.

Como se ha indicado anteriormente, se puede emplear la biomasa en estado sólido para realizar la cogeneración pero esta forma de consumir la biomasa es aprovechada mejor si la potencia necesaria es mayor de 1 MW.

Por ejemplo, es interesante el empleo de una caldera de vapor acoplada a una turbina, también denominado Ciclo de Rankine pero existe una limitación en este sistema y es que el intercambio de calor con el circuito de vapor se puede adherir restos de ceniza procedentes de la biomasa y sinterizan en el tubo, disminuyendo de esta forma el intercambio de calor entre los fluidos.

Para la potencia del edificio de estudio no es factible por tanto el empleo de biomasa sólida por lo que se debe de valorar consumir la biomasa transformada a estado gaseoso o líquido.

En este caso se podría emplea un gas de síntesis procedente de la biomasa para alimentar un motor de combustión o una turbina de gas, respecto de la biomasa en forma líquida, existe el aceite de pirólisis o el biodiesel.

Los procesos que sufre la biomasa desde que se encuentra en su forma bruta hasta que se obtiene una energía final se puede resumir en la siguiente ilustración.

Tratamiento de la biomasa

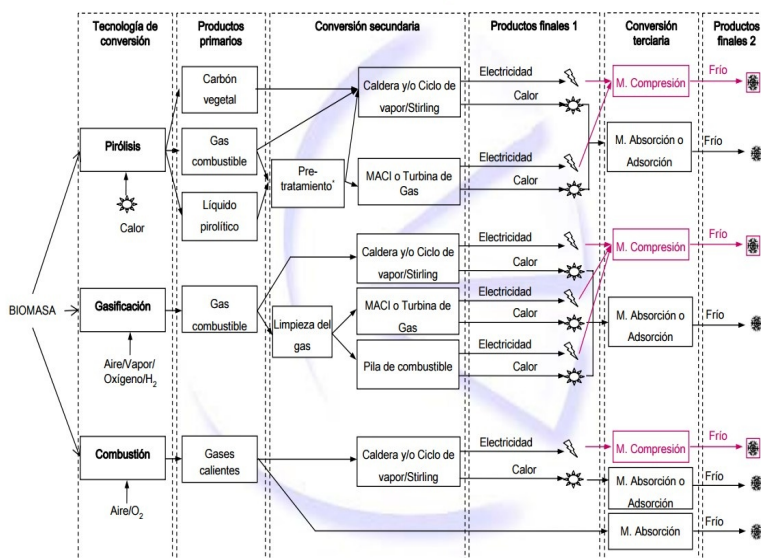


Ilustración 6.2. Tratamiento de la biomasa.

El siguiente paso tras la implantación de la cogeneración con empleo de biomasa sería el de implantar un sistema de trigeneración en el edificio, empleando también para ello la biomasa.

En la trigeneración, se incorporar además una máquina que aproveche la energía calorífica y la electricidad producida por la cogeneración para refrigerar el edificio, también se puede obtener agua caliente sanitaria e iluminar el edificio.

De esta manera, se podría cubrir la demanda del Parador de Jaén empleando solamente biomasa procedente de la provincia de Jaén.

Además, la obtención de ACS mediante la biomasa nos permite cumplir con el DB HE-4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.

“Las fuentes renovables que satisfagan la contribución renovable mínima de ACS y/o climatización de piscina, pueden estar integradas en la propia generación térmica del edificio o ser accesibles a través de la conexión a un sistema urbano de calefacción.

6.2. Empleo de trigeneración

Como se ha explicado brevemente antes, la trigeneración consiste en la obtención de manera conjunta de energía para refrigerar, energía eléctrica, además de poder obtener agua caliente aprovechando el calor residual de un proceso de obtención de energía calorífica como energía primaria.

Esta energía primaria puede obtenerse empleando combustibles fósiles u otro tipo de combustibles, en este caso y el que se va a estudiar es la biomasa.

La energía residual se puede obtener de los siguientes métodos:

1) Simple efecto, donde el agua caliente proviene de las siguientes fuentes:

- Enfriar el motor de cogeneración.
- Intercambiar calor con los gases de escape de un motor de cogeneración o de una turbina.

2) Simple efecto, donde se tiene vapor a baja presión procedente del intercambio de calor con los gases de escape de un motor de cogeneración o de una turbina.

3) Doble efecto, donde se obtiene la energía térmica de los gases de escape que salen del motor térmico o de la turbina.

4) Sistema dual, donde los gases de escape se obtienen de un motor de combustión y el agua caliente se obtiene del circuito de refrigeración del mismo (camisas de cilindros, culatas, aceite)

El empleo de trigeneración es interesante en las instalaciones donde se consume simultáneamente energía en forma de calor o frío, agua caliente sanitaria y electricidad, por lo que un sistema que cumpla estas características tendrá un rendimiento elevado.

Las instalaciones que se aprovechan de estos sistemas son los grandes o edificios terciarios como hoteles, hospitales, instituciones públicas, colegios, residencias o también en ciertas industrias donde se demande calor y frío simultáneamente.

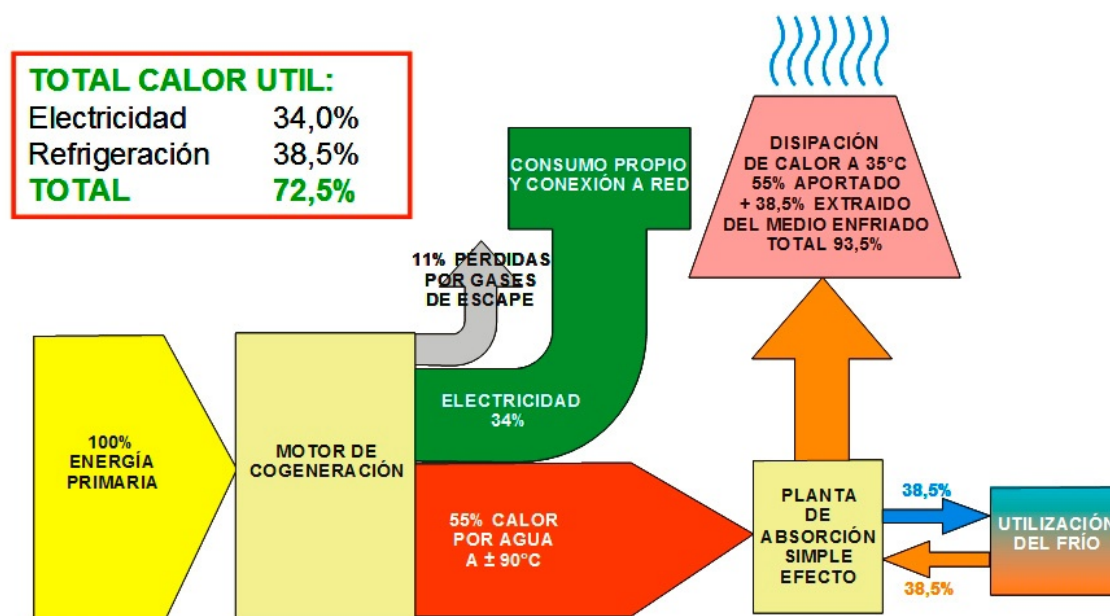


Ilustración 6.3. Rendimiento de un sistema de trigeneración de simple efecto.

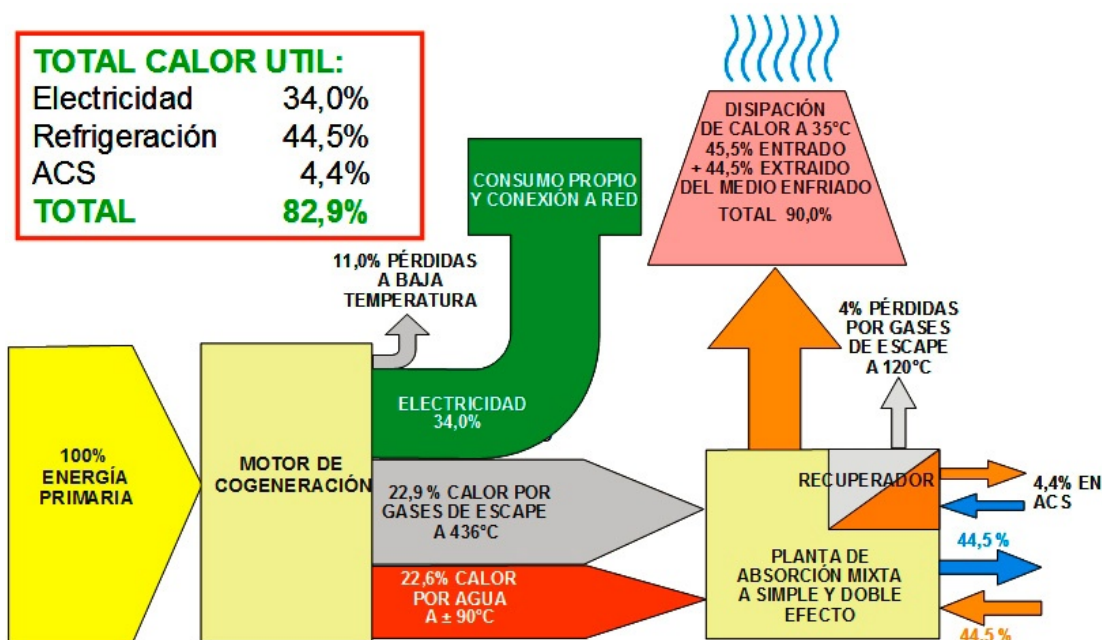


Ilustración 6.4. Rendimiento de un sistema de trigeneración de efecto dual.

6.3. Estudio de la implementación del sistema de trigeneración

La sustitución de los equipos actuales en el edificio objeto por un equipo de trigeneración necesita de un estudio previo que nos permita conocer que equipos escoger para cubrir la demanda.

El rendimiento de una instalación se puede representar con la siguiente expresión:

$$R = \frac{E + V}{Q}$$

Definiéndose cada término como:

Q= Energía primaria consumida, determinada por el poder calorífico inferior del combustible [kcal]

V= Calor o energía térmica útil producida, considerada como energía primaria debida a la producción de calor útil (V) requerida por calderas de alta eficiencia, existe un rendimiento fijado para la producción de calor útil igual al Ref H [kcal]

E= Energía eléctrica generada medida en bornes [kcal]

(Fórmula 6.1)

Se debe definir el rendimiento eléctrico equivalente:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{Ref H}}$$

Definiéndose cada término como:

Ref H= Para la producción separada de calor, valor de referencia de la eficiencia, de conformidad con lo dispuesto en la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo o norma que lo transponga, como el BOE del 23 de diciembre de 2011.

(Fórmula 6.2)

Rendimiento eléctrico equivalente mínimos para cogeneración con biomasa es:

- Biomasa incluida en los tipos b.6 y b.8: 30%
- Biomasa incluida en el grupo b.7.2: 50%

Para plantas de menos de 1 MW, la exigencia se reduce en un 10%, es decir, 27% y 45% respectivamente.

6.3.1. Calor útil empleado en la climatización

En el caso de la implantación del sistema de cogeneración que emplee el calor para climatizar, se debe de calcular el rendimiento eléctrico equivalente para dos periodos distintos, dos liquidaciones semestrales, la energía eléctrica se asocia a la energía térmica útil.

$$E_{REE} = \frac{V}{Ref\ H \cdot \left(\frac{1}{\eta_e} - \frac{1}{REE} \right)}$$

Definiéndose cada término como:

E_{REE} = Energía eléctrica que cumpliría con el rendimiento eléctrico equivalente mínimo requerido, considerando la energía térmica útil real medida, esta energía eléctrica no superará el valor de la electricidad vendida a la red en el periodo considerado [kCal]

V = Calor o energía térmica útil. Si la demanda es de refrigeración, la energía térmica útil correspondiente tomará el mismo valor que la demanda de refrigeración final que satisfaga la cogeneración [kCal]

$Ref\ H$ = Valor de referencia del rendimiento para la producción separada de calor definida anteriormente.

η_e = Rendimiento exclusivamente eléctrico de la instalación (E/Q) [tanto por uno]

REE_{min} = Rendimiento eléctrico equivalente mínimo requerido [tanto por uno].

(Fórmula 6.3)

6.3.2. Sistema de cogeneración a implementar

Para el edificio objeto de estudio, la potencia necesaria para cubrir las demandas de calefacción y refrigeración es:

- Potencia de refrigeración: 351 kW
- Potencia de calefacción: 567 kW

Sin embargo, la potencia instalada difiere de la potencia necesaria, ya que la potencia de los equipos según el modelo varia, por lo tanto, tendremos que instalar el primer modelo que cumpla con la demanda, aunque su potencia sea bastante mayor.

- Potencia instalada de refrigeración: 361,9 kW

Equipo de refrigeración, aire-agua, modelo Powerciat LXH 1850 Z "CIAT", potencia frigorífica nominal de 361,9 kW (temperatura de entrada del aire: 35°C; temperatura de salida del agua: 7°C, salto térmico: 5°C), con grupo hidráulico (vaso de expansión de 80 l, presión nominal disponible de 130,9 kPa) y depósito de inercia de 950 l, caudal de agua nominal de 62,2468 m³/h, caudal de aire nominal de 132000 m³/h y potencia sonora de 98 dBA; con interruptor de caudal, manómetros, válvula de seguridad tarada a 4 bar y purgador automático de aire

- Potencia instalada de calefacción: 600 kW

Caldera de pie, de baja temperatura, con cuerpo de chapa de acero, gran aislamiento térmico y puerta frontal con posibilidad de giro a izquierda o a derecha, para quemador presurizado de gasóleo o gas, construcción compacta

La elección de la máquina de cogeneración y posteriormente la máquina de absorción se realiza dependiendo de la potencia térmica residual del sistema de generación de calor útil del propio sistema de cogeneración.

En este caso la potencia demandada de calefacción es mucho mayor que la potencia de refrigeración, pero en otros casos, es posible emplear de apoyo la enfriadora actual, empleando para ello la energía eléctrica obtenida del propio sistema de cogeneración.

6.3.3. Sistema de cogeneración/trigeneración seleccionado

En la siguiente ilustración se puede ver como existe una demanda diferenciada entre calefacción y refrigeración la mayor parte del año.

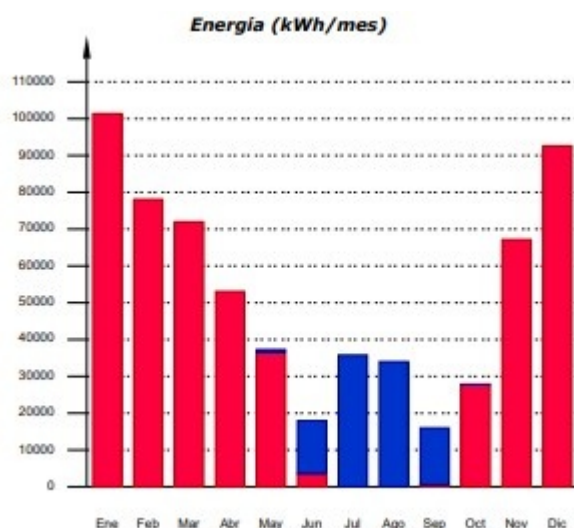


Ilustración 6.5. Demanda de energía a lo largo del año.

Por lo anteriormente mostrado, se puede optar por un sistema de trigeneración que nos permite cubrir la demanda de calefacción, refrigeración y la combinación de ambas durante los 4 meses donde se solapan las demandas, esto es también un motivo de elección de un sistema a 4 tubos.

Sí que es cierto que predomina la demanda de calefacción debido a la situación, orientación, solución constructiva y características de los cerramientos del edificio.

Como se explicó anteriormente en este anexo, no es recomendable el consumo de biomasa de forma directa por la potencia demandada.

Como se ya se mencionó, existe un problema al emplear la biomasa y es que se consideran combustibles sucios y con poder calorífico bajo respecto de otros, por el empleo de estos combustibles se debe de realizar una limpieza regular y un mantenimiento.

Por todo esto, se ha optado por el empleo de microturbinas de gas, estas presenta la ventaja de que el rango de potencias que podemos encontrar es muy amplio. Las turbinas de gas están catalogadas como turbomáquinas térmicas de combustión interna, las cuales emplean un ciclo termodinámico de Brayton.

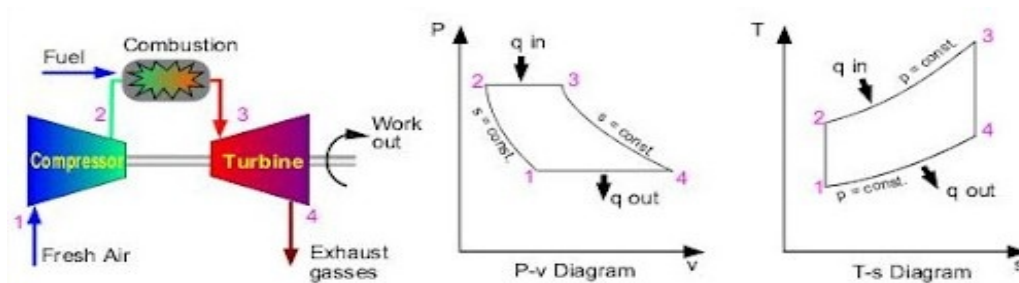


Ilustración 6.6. Ciclo ideal de Brayton

Los sistemas de turbinas en el empleo de biomasa para cogeneración tienen un rendimiento que varía entre el 15% y el 30%.

El empleo de turbinas o microturbinas en la cogeneración tiene ventajas como la de que los gases de escapes, cuya alta temperatura permite obtener agua caliente, a mayor temperatura que con otros sistemas de cogeneración.

La temperatura es tan alta que se puede llegar a conseguir vapor el cual se introduce en un intercambiador de carcasa y tubo, esto se puede desarrollar dando lugar a un Ciclo Organico de Rankine.

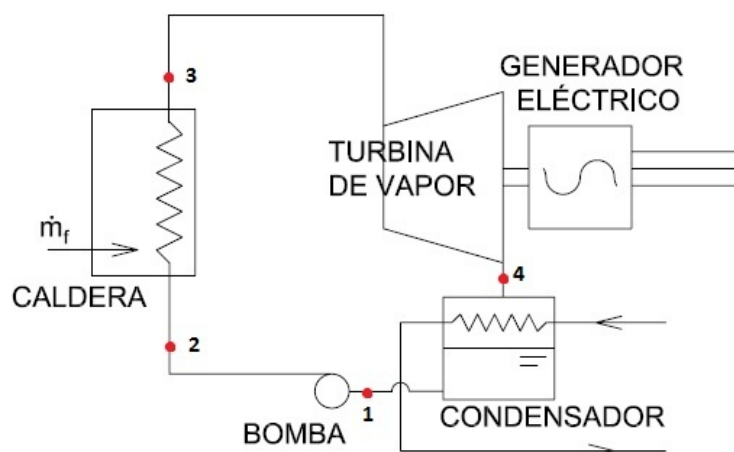


Ilustración 6.7. Esquema Ciclo Orgánico de Rankine (ORC)

La biomasa sólida no puede ser empleada por los sistemas de turbinas por lo que esta debe ser sometida a una serie de procesos termoquímicos para cambiar su estado a líquido o gas, como son los aceites de pirólisis o los gases sintéticos que proceden de procesos de gasificación de la biomasa.

Para poder cubrir la demanda existente en el edificio objeto se seleccionará una máquina que permita obtener agua caliente para cubrir la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria y agua que se introducirá en el sistema de absorción.

En el caso de la demanda de agua caliente sanitaria, se ha calculado con empleando el Documento Básico: Ahorro de Energía, Anejo F Tabla c.

Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado

Criterio de demanda	Litros/día-persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/pensión *	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

Tabla 6.1. Demanda orientativa de ACS

Empleando esta tabla, el cálculo aproximado de consumo de agua caliente sanitaria es de 8600 litros/día.

Este consumo de agua caliente sanitaria se considera a una temperatura de 60°C, la cual, se debe de calentar desde la temperatura de red, esto implica conocer la potencia calorífica.

La razón de calentar el agua a 60°C es el de evitar la aparición de la Legionella la cual es una bacteria que aparece cuando el agua se acumula a temperaturas de alrededor de 30°C, la cual puede afectar a las vías respiratorias.

Por la situación geográfica de Jaén, el agua es considerada dura por lo que no es recomendable calentar más el agua, ya que se puede depositar mucha cal en las zonas del intercambiador y disminuir la eficacia de este.

La fórmula que determinar la potencia necesaria para cubrir la demanda de ACS.

$$D_{ACS} = D(T) \cdot \rho \cdot C_P \cdot (T_{USO} - T_{AF})$$

Definiéndose cada término como:

DACS= Demanda de energía térmica para el A.C.S [kW/día]

D(T)= Consumo de ACS diaria [l/día]

ρ = Densidad del agua [kg/l]

C_p = Calor específico del agua [kJ/kg°C]

TUSO= Temperatura de demanda [°C]

TAF= Temperatura del agua proveniente de la red [°C]

(Fórmula 6.4)

Para el cálculo de la potencia, se debe de tener en cuenta la peor situación en cuanto a temperatura del agua proveniente de la red de suministro, en este caso, es Diciembre donde el valor medio es de 7°C.

Empleando la fórmula antes indicada, la potencia necesaria es de: 22,1 kW.

La potencia conjunta necesaria para cubrir la demanda de calefacción y la demanda de agua caliente sanitaria es de 588 kW.

Para cubrir esa demanda se va a optar por la marca Micropower Europe la cual tiene una línea de microturbinas de gas denominada Capstone.

La elección escogida es la de una microturbina Capstone C200.



Ilustración 6.8. Microturbina de gas escogida, modelo Capstone C200

Esta microturbina tiene las siguientes prestaciones:

- Potencia eléctrica neta producida: 200 kW
- Caudal de gases de escape: 1,33 kg/s
- Potencia térmica recuperable en forma de agua caliente a 90°C: 266 kW.
- Potencia consumida al 100% de carga: 606 kW PCI.

Y 3 microturbinas Capstone C65:



Ilustración 6.9. Microturbina de gas escogida, modelo Capstone C65

Esta microturbina tiene las siguientes prestaciones:

- Potencia eléctrica neta producida: 65 kW
- Caudal de gases de escape: 0.49 kg/s
- Potencia térmica recuperable en forma de agua caliente a 90°C: 115 kW.
- Potencia consumida al 100% de carga: 224 kW PCI.

La demanda de calefacción se cubre con agua proveniente de las microturbinas de gas, a 90°C.

El rendimiento total de las microturbinas de gas es:

$$R (C200) = \frac{200 + 266}{606} = 0,77$$

$$R (C65) = \frac{65 + 115}{224} = 0,80$$

Mientras que el rendimiento equivalente mínimo de la instalación es:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{Ref H}} > 0,5$$

(Fórmula 6.5)

$$REE (C200) = \frac{200}{606 - \frac{266}{0,8}} = 0,73$$

$$REE (C65) = \frac{65}{224 - \frac{115}{0,8}} = 0,81$$

Con un rendimiento equivalente mínimo de 73% en el caso de la Capstone C200 y del 81% en el caso de la Capstone C65 cumplimos con la exigencia de rendimiento equivalente mínimo.

La opción de emplear una microturbina Capstone C200 con 3 microturbinas Capstone C65 es debido a la posibilidad de acoplarse con más facilidad a la demanda.

6.4. Máquina de absorción

6.4.1. Tecnología de un sistema de absorción

Los sistemas de refrigeración mediante el empleo de un ciclo de absorción aprovechan el fenómeno de absorción de calor al cambiar una sustancia de estado, en concreto, de líquido a gaseoso.

Esta tecnología nació en el año 1859 de la mano de Ferdinand Carré cuya máquina de absorción empleaba un ciclo de amoníaco-agua, pero los principios de la máquina de absorción se pueden remontar a 1774 cuando Joseph Priestly aisló los gases de amoníaco, dióxido de carbono y oxígeno.

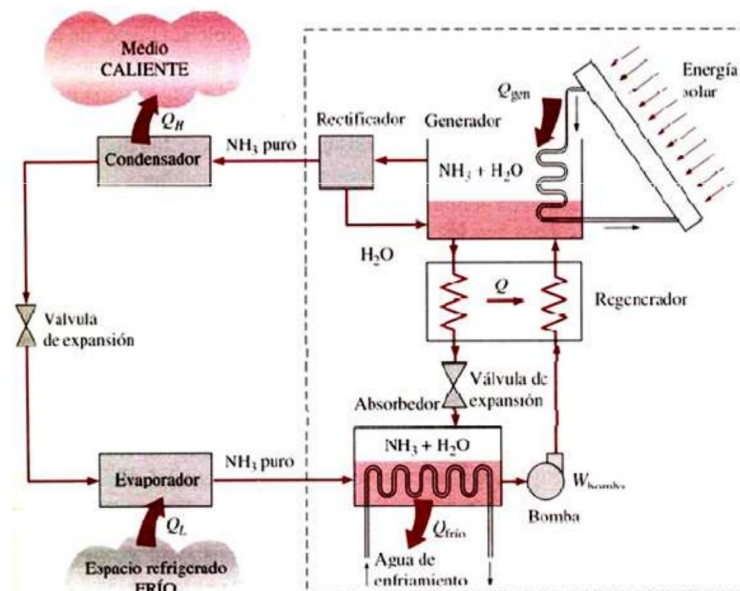


Ilustración 6.10. Funcionamiento de una máquina de absorción con ciclo de amoníaco-agua.

Estos sistemas de refrigeración por absorción consiguen extraer calor de un recinto y luego este es expulsado a otro que se encuentra a mayor temperatura que el inicial.

Uno de los ciclos más empleados es el que presenta una solución acuosa con amoníaco, en este ciclo, el amoníaco actúa como un refrigerante mientras que el agua es el elemento absorbedor.

También se emplean otro tipo de soluciones donde una solución acuosa se une con bromuro de litio o cloruro de litio, pero en estos casos el agua es el refrigerante.

6.4.2. Potencia térmica necesaria.

La demanda de refrigeración a cubrir en este proyecto es de 351 kW.

Esta potencia se ha cubierto inicialmente por unas máquinas que realizan un ciclo de refrigeración por compresión convencional, con un COP medio de 4.

En el caso de refrigeración mediante máquinas de ciclo de absorción, en función de cómo se suministre calor a la solución de refrigerante y absorbedor, el valor del COP variará, siendo en el mejor de los casos 1,5 al suministrar calor en forma de llama directa y de 0,7 al aportar calor mediante agua caliente.

Debido a esto, la potencia térmica a suministrar por las microturbinas de gas en forma de agua caliente es mayor que la de la potencia de refrigeración demandada.

6.4.3. Máquina de absorción escogida

Para cubrir la demanda de refrigeración se ha optado por emplear 3 plantas enfriadoras de agua mediante ciclo de absorción.

Planta enfriadora WFC-SC50:



Ilustración 6.11. Planta enfriadora WFC-SC50

La cual posee las siguientes características:

- Potencia frigorífica con agua a 88°C: 176 kW
- Caudal de agua a 88°C: 12 l/s
- Caudal de agua a 7°C: 7,64 l/s

Dos plantas enfriadoras WFC-SC30:



Ilustración 6.12. Planta enfriadora WFC-SC30

La cual posee las siguientes características (cada una):

- Potencia frigorífica con agua a 88°C: 105 kW
- Caudal de agua a 88°C: 7,2 l/s
- Caudal de agua a 7°C: 4,58 l/s

Hay que tener en cuenta que la capacidad frigorífica de las máquinas de absorción depende de la temperatura del agua de entrada, por ejemplo para la planta enfriadora WFC-SC50, la gráfica que corrige la potencia frigorífica entregada en función de la temperatura del agua caliente es la siguiente:

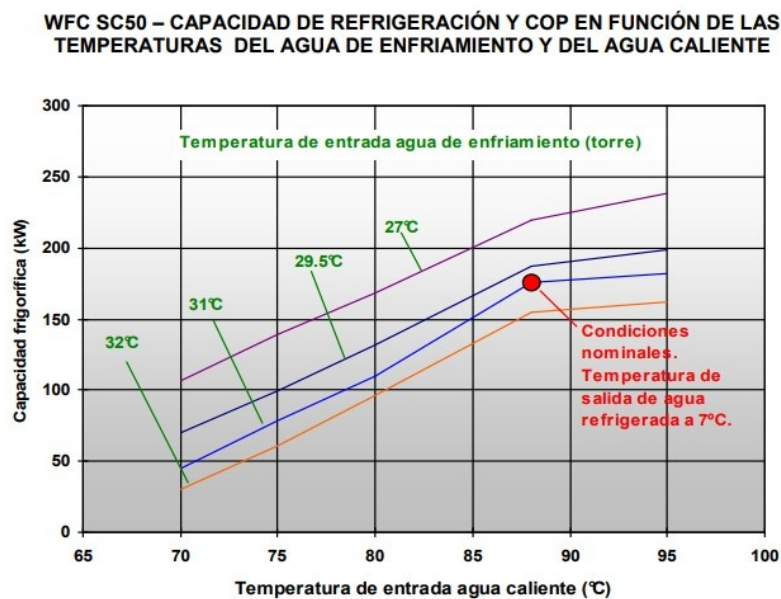


Ilustración 6.13. Capacidad de refrigeración corregida por la temperatura del agua caliente.

La capacidad de refrigeración de la planta de refrigeración depende además de la temperatura del agua caliente de entrada de la temperatura de entrada del agua que se encarga de refrigerar la torre de enfriamiento.

Esta temperatura, en condiciones nominales es considerada 31°C, en este proyecto se ha mantenido este valor.

Destacar los siguientes factores en las plantas de enfriamiento, el factor de capacidad de enfriamiento, denominado en inglés “Cooling Capacity Factor” y el factor de absorción de calor, en inglés conocido como “Heat Input Factor”.

Para el modelo WFC-SC50:

- Factor de capacidad de enfriamiento (CCF): 1,02
- Factor de absorción de calor (HIF): 1,03

Para el modelo WFC-SC30:

- Factor de capacidad de enfriamiento (CCF): 1,02
- Factor de absorcion de calor (HIF): 1,03

Estos valores están obtenidos de la siguiente tabla, aportada por el proveedor:

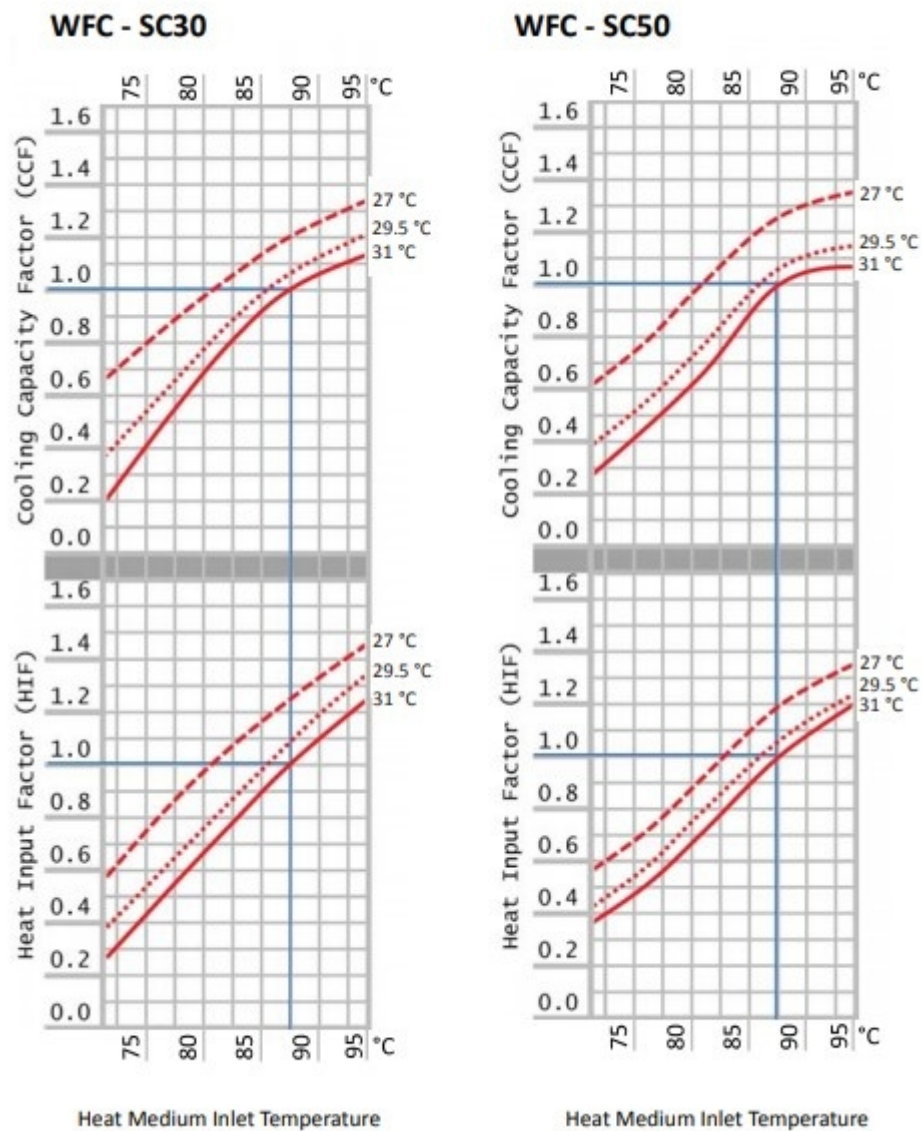


Ilustración 6.14. Gráfico para obtener CCF y HIF.

6.4.4. Obtención de datos para la elección de la torre de refrigeración

Para poder elegir una torre de refrigeración para el sistema de trigeneración se deberán de calcular unos parámetros que nos permita definir el modelo más apropiado.

Capacidad de refrigeración:

$$Q_e = CCF \cdot FCF \cdot RCC$$

Definiéndose cada término como:

- Q_e : Potencia frigorífica corregida [kW]
- CCF: Factor de capacidad de enfriamiento de la máquina de absorción
- FCF: Factor de corrección del flujo
- RCC: Potencia de enfriamiento, valor de referencia [kW]

(Fórmula 6.6)

Calor absorbido por el generador:

$$Q_g = HIF \cdot FCF \cdot RHI$$

Definiéndose cada término como:

- Q_g : Calor absorbido por el generador [kW]
- HIF: Factor de absorción de calor de la máquina de absorción
- FCF: Factor de corrección del flujo
- RCC: Calor absorbido por el generador, valor de referencia [kW]

(Fórmula 6.7)

Salto de temperatura producido en el agua de enfriamiento, agua caliente introducida en la máquina de absorción y en el agua de refrigeración, calculado para cada tramo de tubería:

$$\Delta T = \frac{5}{9} \cdot \frac{Q}{0,5 \cdot FR}$$

Definiéndose cada término como:

- Q: Flujo de calor [Mbtuh]
- FR: Flujo de agua empleado [GPM]

(Fórmula 6.8)

Este valor del salto de temperatura tiene como unidad grados Fahrenheit [°F], será necesario cambiar las unidades a grados Celsius [°C], para ello se debe de multiplicar por 5/9.

Valor de la pérdida de presión producida:

$$\Delta Pa = \Delta Pr \cdot \left(\frac{Q_a}{Q_r} \right)^2$$

Definiéndose cada término como:

- ΔPa : Perdida de presión [kPa]
- ΔPr : Perdida de presión en condiciones de referencia [kPa]
- Q_a : Caudal [GPM]
- Q_r : Caudal en condiciones de referencia [GPM]

(Fórmula 6.9)

Una vez presentadas las fórmulas que nos van a definir los valores claves para elegir nuestra torre de refrigeración, podemos proceder a realizar los cálculos necesarios.

Indicar que se ha considerado el Factor de corrección del flujo (FCF) como unitario.

Datos obtenidos para el agua refrigerada, zona de evaporador en el modelo WFC-SC50:

- Capacidad frigorífica de referencia: 176 kW
- Capacidad frigorífica corregida: 179,5 kW
- Incremento de temperatura: 5,6°C
- Pérdida de carga en el evaporador: 35,9 kPa

Datos obtenidos para el agua caliente, generador, modelo WFC-SC50:

- Potencia calorífica a la entrada: 252 kW
- Energía calorífica de entrada, actual: 259,6 kW
- Caudal de agua caliente: 12 l/s
- Incremento de temperatura: 5,0°C
- Pérdida de carga en el evaporador: 86,7 kPa

Datos obtenidos para la torre de refrigeración, modelo WFC-SC50:

- Calor a evacuar por la torre de refrigeración, referencia: 428 kW
- Capacidad frigorífica actual: 443,4 kW
- Caudal de agua de la torre de refrigeración: 25,6 l/s
- Incremento de temperatura: 4,15 °C
- Pérdida de carga en el absorbedor/condensador: 37,4 kPa

Datos obtenidos para el agua refrigerada, zona de evaporador en el modelo WFC-SC30:

- Capacidad frigorífica de referencia: 105 Kw
- Capacidad frigorífica corregida: 107,1 kW
- Incremento de temperatura: 5,58°C
- Pérdida de carga en el evaporador: 60,8 kPa

Datos obtenidos para el agua caliente, generador, modelo WFC-SC30:

- Potencia calorífica a la entrada: 151 kW
- Energía calorífica de entrada, actual: 155.53 kW
- Caudal de agua caliente: 7.2 l/s
- Incremento de temperatura: 5,0°C
- Pérdida de carga en el evaporador: 60,4 kPa

Datos obtenidos para la torre de refrigeración, modelo WFC-SC30:

- Calor a evacuar por la torre de refrigeración, referencia: 256 kW
- Capacidad frigorífica actual: 263,7 kW
- Caudal de agua de la torre de refrigeración: 15,3 l/s
- Incremento de temperatura: 4,15 °C
- Pérdida de carga en el absorbedor/condensador: 46,4 kPa

6.4.5. Elección de la torre de refrigeración

El estudio previo nos permite caracterizar la torre de refrigeración que será necesario incorporar en el sistema de trigeneración.

El calor total que se debe de evacuar es de 970,8 kW, para ello se emplearán 56,2 l/s de agua que actuará como refrigerante.

En total, el sistema de absorción aportará 393,7 kW de potencia de refrigeración, para ello este sistema absorberá 570.66 kW en forma de agua caliente a 90°C, a razón de 26,4 l/s.

Puesto que la torre de refrigeración se encuentra en el parador de Jaén, un edificio con características excepcionales, se tendrá que elegir una torre de circuito cerrado donde no es necesario disponer de una fuente de agua que surta de un caudal continuo.

El fabricante EWK tiene distintos modelos de torres de refrigeración que pueden cubrir la demanda.

En este caso para disipar el calor de 970.8 kW se puede emplear el modelo EWK-C 1260/5 con una capacidad de disipación de 1109 kW.

Para calcular el caudal de aporte debido a las pérdidas por purga, evaporación o arrastre se consulta el IDEA “Guía técnica, Torres de refrigeración”.

Cálculo de la cantidad de agua evaporada:

$$V_{ev} = \frac{Q_{disipar}}{Cv}$$

Definiéndose cada término como:

V_{ev} = Caudal de agua que se evapora [l/s]

$Q_{disipar}$ = Potencia térmica que disipa por la torre [kW]

Cv = Calor latente de evaporación medio del agua [kJ/kg]

(Fórmula 6.10)

Cálculo de la cantidad de agua evaporada:

$$V_{ar} = Q_{agua} * Ef$$

Definiéndose cada término como:

V_{ar} = Caudal de agua perdido en el arrastre [l/s]

Q_{agua} = Caudal de agua a refrigerar [l/s]

Ef = Rendimiento del separador de gotas [expresado en tanto por uno].

Eficiencia: 0.00002

(Fórmula 6.11)

Empleando la siguiente tabla:

		Cerramiento Galvanizado	Cerramiento Galvanizado + Protección Epoxi	Cerramiento Poliéster + Fibra Vidrio	RD 865/2003 Anexo 4 Tabla 1	UNE 100030 IN 6.2.3 -T.4
pH		7,0 - 9,0	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0	6 < pH < 8
Dureza (CO ₃ Ca)	ppm	60 - 500	30 - 500	70 - 500		.....
Alcalinidad (CO ₃ Ca)	ppm	500	500	500		
Total sólidos disueltos	ppm	 ⁽¹⁾ 1.000	 ⁽¹⁾ 1.200	 ⁽¹⁾ 800	.....	.....2.500
Cloruros	ppm	125	250	200		
Sulfatos	ppm	125	250	200	.....	.....
Conductibilidad	μS/cm	⁽²⁾ 1.600	⁽²⁾ 2.000	⁽²⁾ 2.000	⁽³⁾	
Contenido total en sales	ppm	.....	.....	.....3.000		.....
Contenido en hierro	ppm	.....	.....	.....0,3	Hierro total <12	.....
Turbidez	⁽⁴⁾ UNF	.....	.....	.....	.....< 15	apreciable
Nivel de biocida		.....	.....	.....	Según especific. del fabricante	.....
Aerobios totales	⁽⁵⁾ cfu/ml	.....	.....	.....	.....	10 ⁽⁴⁾

Tabla 6.2. Parámetros recomendables* de calidad del agua de recirculación en torres y condensadores de enfriamiento evaporativo.

Una de las características de la construcción de estas torres es el empleo de PRFV (Plástico reforzado con Fibra de Vidrio), la selección del material afecta al caudal de purga.

El cálculo del caudal de purga:

$$V_p = \frac{V_{ev} - V_{ar}}{C_c - 1}$$

Definiéndose cada término como:

V_p= Caudal de agua que se evacua mediante la purga [l/s]

V_{ev}= Volumen de agua que se evapora [l/s]

V_{ar}= Caudal de agua que se pierde debido a arrastres [l/s]

(Fórmula 6.12)

Se realizan los cálculos con las ecuaciones anteriormente indicadas, obteniéndose los siguientes valores:

Caudal de agua por evaporación: 0.381 l/s

Caudal de agua perdida por arrastre: 0.001124 l/s

Caudal de agua de purga: 0.633 l/s

Caudal de agua a aportar: 1.015 l/s

6.4.6. Conclusión

El sistema de trigeneración que se ha planteado usa biomasa procedente de la provincia, siendo Jaén, lo lógico es emplear la que procede del olivar.

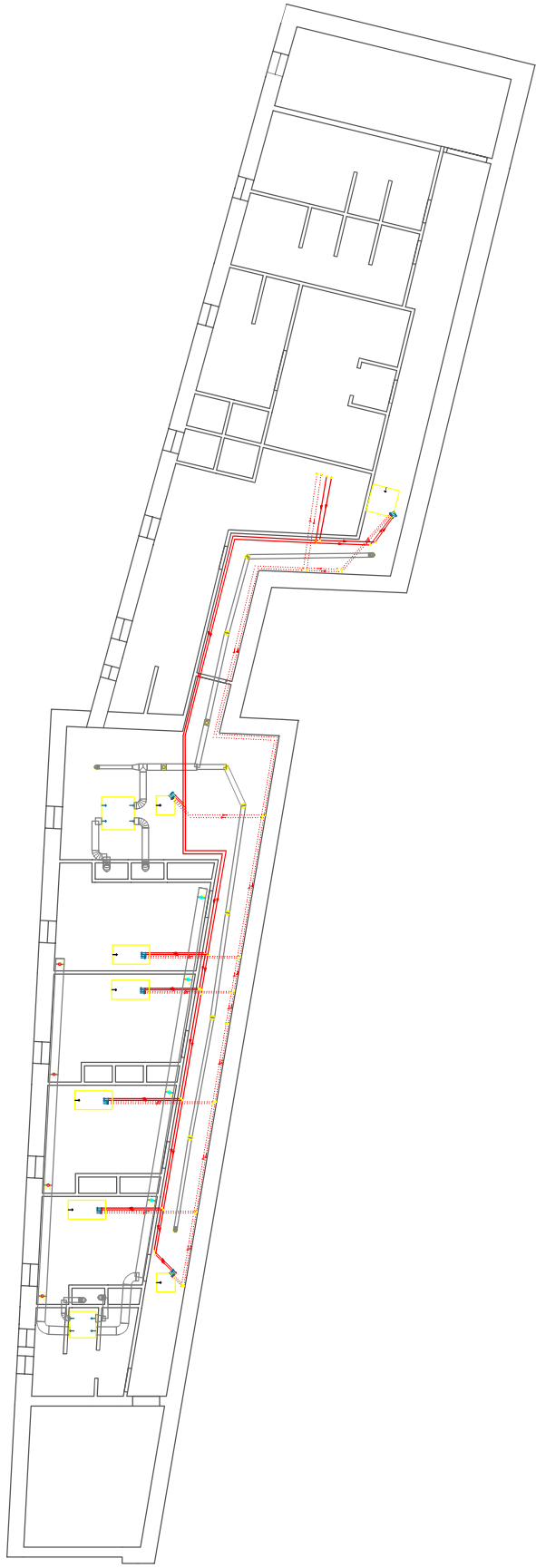
Como no se puede emplear la biomasa bruta, se tendrá que tratar mediante un proceso termoquímico para obtener un gas sintético de modo que las microturbinas de gas puedan ser alimentadas.

Con los equipos obtenidos, se cubre la demanda de calefacción en invierno además de la demanda de agua caliente sanitaria, no habiendo problema de demanda, además debido al número de microturbinas escogidas, se puede modular la carga, permitiendo repartir el trabajo con mayor facilidad.

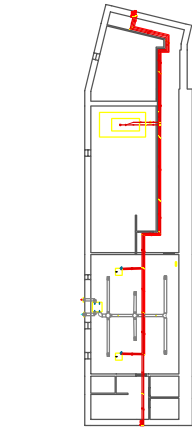
La demanda de refrigeración también queda cubierta totalmente gracias a los equipos de absorción escogidos, como se ha comentado anteriormente, con la elección de los equipos se puede repartir el trabajo según la carga que haya.

La torre de refrigeración escogida permite disipar el calor y que la máquina de absorción funcione correctamente, para ello, deberá de recibir un caudal constante de agua para suplir las pérdidas de agua que se producen debido a los fenómenos de evaporación, arrastre o purga.

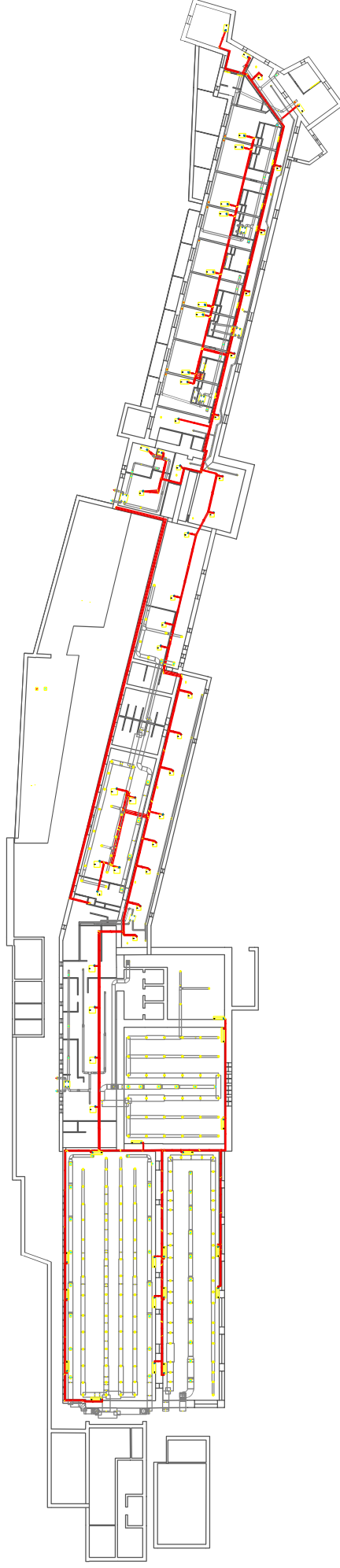
7. Planos



Planta -2
Parador de Turismo de Jaén
Escala: 1:100



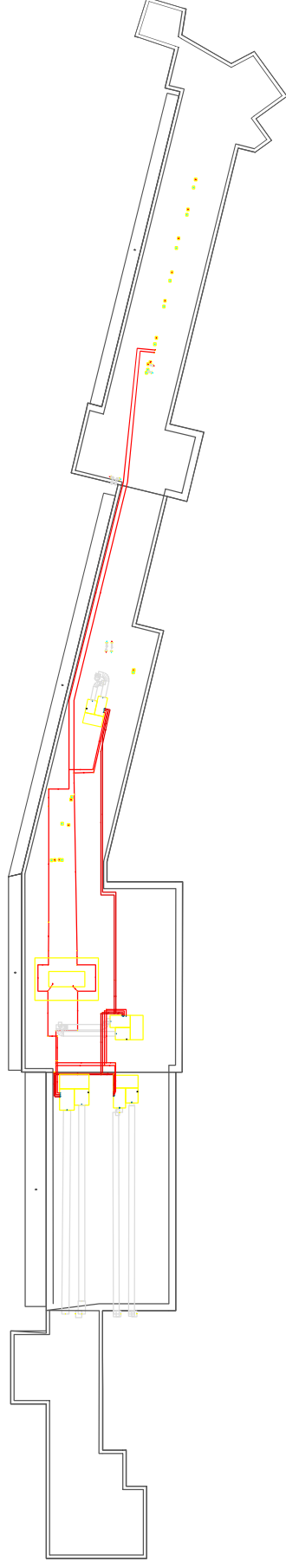
Planta -1
Parador de Turismo de Jaén
Escala: 1:100



Planta Baja
Parador de Turismo de Jaén
Escala: 1:100



Planta Primera
Parador de Turismo de Jaén
Escala: 1:100



Cubierta
Parador de Turismo de Jaén
Escala: 1:100

Bibliografía

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

Código técnico de la Edificación

Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración (IDAE, 2007)

Guía Técnica: Torres de refrigeración (IDAE, 2007)

Guía Técnica: Agua Caliente Sanitaria Central (IDAE, 2010)

Documentos provenientes de la asignatura de Instalaciones Térmicas en la Edificación de la Escuela Politécnica Superior de Jaén

Documentos provenientes de la asignatura de Instalaciones Térmicas en la Industria de la Escuela Politécnica Superior de Jaén

Catálogos de los múltiples fabricantes seleccionados

Foros relacionados con las instalaciones de climatización.