

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE GRADO

***ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRIGENERACIÓN DE UN
HOSPITAL***

Alumno: González, Ribadulla, Iker

Director: Eguia, Rentería, Juan José

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 22, Febrero, 2018

INDICE DE CONTENIDOS

MEMORIA	
1.	INTRODUCCIÓN 10
2.	CONTEXTO 11
3.	OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO 14
3.1.	Motores alternativos de gas natural 15
3.2.	Frigoríficos de absorción de LiBr-H ₂ O 16
3.3.	Caldera de recuperación de calor..... 18
4.	BENEFICIOS DEL PROYECTO 20
5.	ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE 23
6.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 26
6.1.	Turbina de gas 26
6.2.	Motor alternativo de gas 27
6.3.	Trigeneración 29
6.4.	Alternativa seleccionada..... 30
6.5.	Alternativas de motores..... 32
6.5.1.	Caso 1: Un motor MWM TCG 2020 V20 (2000 kWe)..... 32
6.5.2.	Caso 2: Dos motores MWM TCG 2020 V12 K1 (1000 kWe cada uno)..... 33
6.5.3.	Caso 3: Dos motores DEUTZ TCG 2020V12 (999 kWe cada uno)..... 33
6.6.	Alternativas de frigoríficos 34
7.	ANÁLISIS DE RIESGOS..... 35
7.1.	Rotura de los motores y/o frigoríficos de absorción..... 35
7.2.	Variación de la normativa 35
7.3.	Ponderación de los riesgos 35
8.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA..... 37
9.	DESCRIPCIÓN DE TAREAS 44
10.	DIAGRAMA DE GANTT 47
11.	CÁLCULOS..... 49
12.	DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO..... 57
12.1.	Presupuesto ejecutado..... 57
12.2.	Presupuesto..... 59
13.	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD..... 60
CONCLUSIONES..... 62	
BIBLIOGRAFÍA..... 63	
ANEXO I: 64	

Normativa aplicable	64
ANEXO II:.....	65
Planos	65

Resumen

En este proyecto se pretende realizar la elección de la tecnología más idónea para la instalación de una planta de trigeneración (generación conjunta de electricidad, calor y frío) en un hospital de Vizcaya.

En primer lugar, se presenta el contexto en el que se encuentra nuestro objeto de estudio, resaltando la importancia que tiene la eficiencia energética y qué papel tiene la trigeneración en ayudar a impulsarla.

Posteriormente, se determinará el alcance, en el que describimos las diferentes tecnologías que se considerarán, y los beneficios esperados a la hora de la realización de este proyecto.

En los siguientes apartados, se realizan los diferentes cálculos y/o análisis en los que se decide qué tipo de tecnología instalar, en cuanto a términos económicos, termodinámicos y de fiabilidad.

También se describirá la planificación del proyecto, enumerando las correspondientes tareas llevadas a cabo y mostrándolas en un diagrama de Gantt.

Además, se mostrarán dos presupuestos detallados: uno de ellos estará formado por las diferentes partidas (horas internas, gastos, ...), mostrando finalmente el coste total del proyecto. Por otro lado, el otro presupuesto mostrará el coste de los diferentes elementos y servicios que componen el proyecto.

Finalmente, se describirán las principales conclusiones extraídas a lo largo de la realización del trabajo y que se consideran de vital importancia tras la realización del proyecto.

Palabras clave: Trigeneración, motor de combustión alterna, eficiencia energética, frigorífico de absorción.

Laburpena

Proiektu honen helburua da trigenerazio planta bat (elektrizitatea, beroa eta hotza sortzea) Bizkaieko ospitaleko instalazio teknologiko bat aukeratzea.

Lehenik eta behin, aztergai dugun testuingurua aurkezten dugu, eraginkortasun energetikoaren garrantzia azpimarratuz eta zer rola darabiltzan.

Ondoren, esparrua zehaztuko da. Horretarako, kontuan hartuko ditugun teknologiak deskribatuko ditugu eta proiektu hau burutzeko espero diren onurak.

Ondorengo ataletan kalkulu eta/edo analisi desberdinak egiten direnean, zer teknologia instalatu behar den erabakitzen da, ekonomiaren, termodinamikaren eta fidagarritasunaren arabera.

Proiektuaren plangintza ere deskribatuko da, dagokion zereginak zerrendatuta eta Gantt diagrama batean bistaratzeko.

Horrez gain, aurrekontu bi zehatzak erakutsiko dira: horietako bat osagai desberdinek osatzen dute (barne-orduak, gastuak, ...), azkenik proiektuaren kostu osoa erakutsiz. Bestalde, beste aurrekontuak proiektuaren osagai eta zerbitzu desberdinen kostua erakutsiko du.

Azkenean, proiektuaren burutzapenaren ondoren, funtsezkoa izango da lanaren exekuzioan ateratako ondorio nagusiak deskribatuko dira.

Gako hitzak: trigenerazioa, errekontzako motor alternatiboa, energia-eraginkortasuna, xurgatze hozkailua.

Abstract

This project intends to make the choice of the most suitable technology for the installation of a trigeneration plant (joint generation of electricity, heat and cold) in a hospital in Vizcaya.

First, we present the context in which our object of study is located, highlighting the importance of energy efficiency and what role trigeneration plays in helping to promote it.

Subsequently, the scope will be determined, in which we describe the different technologies that will be considered, and the expected benefits when carrying out this project.

In the following sections, the different calculations and / or analyzes are carried out in which it is decided what type of technology to install, in terms of economic, thermodynamic and reliability terms.

Project planning will also be described, listing the corresponding tasks carried out and displaying them in a Gantt chart.

In addition, two detailed budgets will be shown: one of them will be formed by the different items (internal hours, expenses, ...), finally showing the total cost of the project. On the other hand, the other budget will show the cost of the different elements and services that make up the project.

Finally, the main conclusions drawn during the execution of the work and that are considered of vital importance after the completion of the project will be described.

Keywords: Trigeneration, alternative combustion engine, energy efficiency, absorption refrigerator.

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Desglose de aprovechamiento energético de un motor 16

Ilustración 2. Esquema de un motor y su producción energética..... 16

Ilustración 3. Representación de un ciclo de refrigeración..... 18

Ilustración 4. Esquema de una caldera de recuperación de calor 19

Ilustración 5. Diagrama de flujo de la energía utilizando Trigeneración con turbina de gas 20

Ilustración 6. Representación de una instalación de cogeneración con turbina de gas 26

Ilustración 7. Desglose de un ejemplo de aprovechamiento energético en una instalación de cogeneración con turbina de gas..... 27

Ilustración 8. Representación de una instalación de cogeneración con motor alternativo de gas..... 27

Ilustración 9. Desglose de un ejemplo de aprovechamiento energético en una instalación de cogeneración con motor alternativa de gas 28

Ilustración 10. Representación de una instalación de trigeneración con motor alternativo de gas..... 29

Ilustración 11. Catálogo del frigorífico de LiBr de Broad..... 34

Ilustración 12. Matriz de probabilidad-impacto..... 36

Ilustración 13. Diagrama de Gantt del proyecto 48

Ilustración 14. Desglose del presupuesto ejecutado del proyecto 59

Ilustración 15. Esquema de la planta de trigeneración del hospital..... 65

Índice de tablas

Tabla 1. Características técnicas del motor MWM TCG 2020 V20.....	31
Tabla 2. Características técnicas del motor MWM TCG 2020 V12 K1	31
Tabla 3. Características técnicas del motor DEUTZ TCG 2020V12.....	32
Tabla 4. Tabla de demandas eléctricas y térmicas del hospital en años anteriores	37
Tabla 5. Gastos económicos en la situación sin Trigeneración	40
Tabla 6. Comparación de costes entre las tres alternativas	41
Tabla 7. Cálculos energéticos y económicos en la situación sin trigeneración.....	51
Tabla 8. Cálculos energéticos y económicos para el caso 1	52
Tabla 9. Cálculos energéticos y económicos para el caso 2	53
Tabla 10. Cálculos energéticos y económicos para el caso 3	54
Tabla 11. Desglose de las Horas Internas	57
Tabla 12. Desglose de los Gastos.....	58
Tabla 13. Desglose de las Amortizaciones	58
Tabla 14. Desglose de las Subcontrataciones	58
Tabla 15. Presupuesto total del Proyecto.....	59
Tabla 16. Flujos de caja del proyecto a lo largo de su vida útil.....	61

Lista de gráficas

Gráfica 1. Evolución de la potencia de cogeneración instalada en España entre 1983 y 2008.....	24
Gráfica 2. Representación gráfica de las demandas del hospital.....	38
Gráfica 3. Demandas energéticas sin trigeneración (situación anterior)	40
Gráfica 4. Comparativa de costes en las tres alternativas de motores	42
Gráfica 5. Comparativa costes sin-con trigeneración	43

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se va a analizar que tecnología se deberá utilizar para instalar un módulo de trigeneración (que es la generación conjunta de electricidad y energía térmica para calor y frío) en el sector residencial. Este proyecto irá dedicado a su implantación en un hospital de Vizcaya.

Este hospital se trata de un edificio con unas infraestructuras de unas dimensiones bastante grandes y que requiere de un suministro de electricidad y energía térmica que sea continuo e importante. Al ser un hospital de carácter público, el uso de esta tecnología proporcionaría un ahorro económico que, en época de crisis económica, hace de ella una alternativa muy a tener en cuenta.

Por tanto, la instalación de un sistema de trigeneración se hace muy apetecible si tenemos en cuenta el ahorro que supondría, tanto económico como energético, además de la reducción de emisiones de gases invernadero a la atmósfera. Este ahorro económico que se consigue, se podría reinvertir en dar un mejor servicio a los pacientes del hospital, y por lo tanto mejorar la calidad de la sanidad y las condiciones laborales del personal del hospital.

Por todo ello, se realizará un análisis en el que elegiremos la tecnología a utilizar, que en este caso será el de un motor alternativo de combustión de gas natural.

Tras esto, se verá la cantidad de energía que el módulo es capaz de proporcionar al edificio, y cuanto se debe comprar a la red eléctrica o cuanto se debe vender.

Como penúltimo paso, se realizará un presupuesto de la planta de trigeneración y se hará un estudio de viabilidad.

Y por último, se recogerán las conclusiones más importantes realizadas a lo largo del trabajo.

2. CONTEXTO

El mundo globalizado de hoy día está atravesando una coyuntura complicada motivada por crisis tan importantes como la económica y financiera, la de políticas sobre sostenibilidad energética y ecológica, la de recursos alimenticios y materias primas, las políticas de exportaciones energéticas.

En concreto, el ámbito de la producción de la energía y el modo en que se gestiona es una de las mayores preocupaciones en todos los países debido al costo cada vez mayor, al aumento de la demanda energética per cápita (fruto del avance tecnológico y del nivel de bienestar de la sociedad) o la dependencia exterior que se genera entre unos y otros, siendo motivo de conflictos diplomáticos como la actual situación generada por Rusia a países dependientes energéticamente de ella, como Ucrania en primer lugar. La energía está presente en toda acción del entorno cotidiano, desde cargar un teléfono móvil a energizar todo un complejo industrial. Sin embargo, desde el siglo pasado se arrastra el problema de los combustibles fósiles por su limitada disponibilidad y por su efecto contaminante, mientras que la producción de las energías renovables u otras más eficientes no es suficiente en la actualidad para hacer frente al problema energético de forma contundente.

En este contexto, se hace obvio que los distintos conflictos medioambientales tienen que frenarse en esta vorágine de contaminación. La actividad del hombre siempre ha ocasionado alteraciones del medio y ha modificado los hábitats naturales de flora y fauna durante toda la historia de un modo más leve, pero es a partir de la revolución industrial en el siglo XIX cuando se comienza a producir un efecto verdaderamente notable sobre el medioambiente con el uso indiscriminado de recursos naturales. El ritmo de regeneración ecológico de tales recursos y de otros elementos de la naturaleza es muy lento comparativamente con su consumo y hay que buscar soluciones que permitan la sostenibilidad ecológica.

Sin embargo, los gobiernos de todos los países, así como sus conciudadanos, son conscientes de la problemática y de que son necesarias medidas urgentes y un mayor uso de energías renovables y de mejor eficiencia para no solo frenar las alarmantes consecuencias de los problemas medioambientales, sino también para controlarlos y reducirlos. Por eso, se llevó a cabo un protocolo de las Naciones Unidas en 1997 dentro de un marco de ámbito político y económico internacional en el que los países se comprometieron con el Protocolo de Kioto a la consecución de un objetivo: reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Hay que tener en cuenta que tal consecución conlleva hacer un inconmensurable esfuerzo por parte de administraciones y organismos, así como a la postre las empresas emisoras. Para llegar a cumplirlo se han de valer de la creación de nuevas normativas medioambientales y políticas, así como de una inversión multimillonaria en I+D+i de nuevas tecnologías o la mejora de las ya existentes con una implementación lo más eficiente posible, lo cual abarca a la cogeneración.

No obstante, y tras encontrarnos en plena segunda década del siglo XXI, los problemas apenas se han reducido y las consecuencias del deterioro medioambiental aún no se han contrarrestado lo suficiente. En España se trabaja para cumplir el llamado Plan 20-20-20 fijado en 2008 por la Cámara Europea (aunque el objetivo de eficiencia no es vinculante y se ha distribuido entre los distintos Estados Miembros), así como el Plan de Acción 2008-2012 para la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España que establecía como objetivo un incremento de unos 2.500 MW de cogeneración dentro del Régimen Especial en el periodo 2008-2012 y que aún queda pendiente de lograrse completamente. Por ello, la cogeneración es un utensilio indispensable no sólo para la consecución de los objetivos medioambientales pactados por organismos como la ONU y el IPCC2 en la lucha para reducir la contaminación sino también para hacer más eficiente la utilización de los recursos naturales y energéticos, siempre escasos ante la no sostenible ambición humana en el sistema capitalista actual. Ha sido más habitual la implantación en el sector industrial y de forma más marginal en el sector terciario. Ese es el sector donde se debe incidir más promoviendo la financiación para proyectos en hospitales, hoteles, centros comerciales y otros edificios de constante consumo energético.

Centrándola en España, la situación es muy comprometida debido a aspectos como la alta dependencia energética del exterior (en torno al 80%) donde la ausencia de combustibles fósiles como el fuel y el gas natural condicionan el progreso de la actividad en los sectores secundario y terciario, ya que cubren más del 50% de la cobertura de la demanda (incluyendo el carbón). Por esa falta de recursos, hemos visto cómo las energías renovables y otras de régimen especial como la cogeneración han pasado a asumir un papel protagonista en el conjunto de la producción nacional energética. Consecuentemente, para su promoción precisaron cobrar una prima económica especial por generación en la última década (anteriormente al RDL 1/2012). Debido a la moratoria de dicha ley al régimen especial, han pasado a no cobrar ningún tipo de retribuciones ni ayudas, ni tan siquiera los complementos de eficiencia. Todo ello ha sido auspiciado por el desequilibrio de una gestión política que no termina de proporcionar una regulación favorable ni estable (que se suponía transitoria) y ha hecho tambalearse a los sectores del régimen especial y al sistema eléctrico español en general.

Por otro lado, este proyecto trata de la actuación de las tecnologías de cogeneración en el ámbito hospitalario. Y efectivamente la gestión en hospitales está íntimamente relacionado con los conceptos ecológicos, medioambientales y de eficiencia expuestos anteriormente, al ser un ámbito con claro potencial de aplicación de los principios de eficiencia y ahorro de recursos.

Los hospitales son grandes complejos donde se consume gran cantidad de energía para el desarrollo de la actividad médica y de otras especies; no sería desacertado compararlos con pequeñas micro-ciudades independientes al confluir una notoria cantidad de población (pacientes, profesionales médicos y administrativos, familiares, profesionales de servicios agregados de restauración, limpieza,

transporte...). Además de las demandas comunes de cualquier edificio, hay que tener en cuenta que en quirófanos, U.C.I., reanimación, etc. se consume una alta cantidad de recursos energéticos. Al mismo tiempo, requieren otro grado más, pues no es suficiente sólo con tener acceso a la energía sino que es indispensable, por la actividad médica urgente, una continuidad y seguridad de la misma.

En cualquier caso, el equipamiento actual del hospital se seguirá utilizando para cubrir los consumos punta que no llegue a cubrir la producción de la nueva instalación y así seguir sirviendo de apoyo a la nueva planta. Asimismo, los nuevos equipos serán más amortizables al no ser excesivamente grandes y los anteriormente instalados seguirán funcionando con un periodo de vida útil prolongado. En conclusión, la cogeneración se alza como una tecnología eficaz, segura y necesaria en el sector terciario para conseguir reducir globalmente el problema medioambiental, la eficiencia de los bienes energéticos consumidos, para aumentar la seguridad del propio suministro mediante el autoconsumo y reducir la dependencia energética exterior.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El estudio realizado en este proyecto tiene como objetivo investigar la viabilidad de una instalación de trigeneración en un hospital de Vizcaya, en un nuevo escenario normativo, y el cálculo de los equipos que serán necesarios para su operación.

De este modo, se ha de conseguir obtener:

- Un resultado positivo de viabilidad tanto técnica como económica de la implantación de dicha planta.
- Cubrir una determinada parte de la demanda energética del hospital, lo que comprende satisfacer las necesidades de electricidad, calefacción y refrigeración mediante el aprovechamiento del calor producido por los motores.
- La optimización financiero-económica, al tener que se consume menor materia prima por la alta eficiencia del motor-generator junto con la máquina de absorción, y sobre todo por el coste evitado de los elevados precios eléctricos al ser cubierta la demanda con gas que se pagará a menor precio.
- Una disminución de las emisiones de gases efecto invernadero (CO_2 , SO_2 , NO_x , etc). Con la trigeneración se persigue, entre otras cosas, un modo de reducir el impacto ambiental que además lleve al cumplimiento el Protocolo de Kyoto y los objetivos marcados por Europa en el marco recogido desde el IDAE y la CNMC.
- Una fiabilidad mucho mayor del suministro de energía al poder funcionar en modo autoconsumo, pues esto implica que ante fallos de la red, el hospital entraría en modo back-up sin que se viera afectada su actividad médica normal en caso de fallo en la red eléctrica. La conexión a la red en condiciones normales de no-avería supone un intercambio de aporte o cesión eléctrica, garantizando un funcionamiento ininterrumpido en el hospital y reforzando la seguridad del suministro en la zona de la red mallada, aportando un nodo de generación que equilibra las demandas cercanas especialmente en los meses del verano (particularmente en trigeneración que es cuando se produce excedente electricidad). Los consumos por refrigeración ya no son cubiertos desde las centrales eléctricas y esto permite una mayor estabilidad en las saturadas líneas de transporte.

En este proyecto, se va a estudiar la posibilidad de instalar diferentes tecnologías (Motores alternativos de gas natural, Frigoríficos de absorción y Caldera de recuperación de calor) que formen parte de la planta de trigeneración del hospital de la provincia de Vizcaya. A continuación, se explica en detalle cada tipo de tecnología:

3.1. Motores alternativos de gas natural

El motor alternativo, es un motor térmico cíclico de combustión interna, de movimientos alternativo, y que convierte la energía química contenida en un combustible en energía mecánica de rotación de un eje. Este eje está acoplado al eje de un generador eléctrico, gracias al cual se genera la electricidad.

Por otro lado, el motor también genera energía térmica gracias a la explosión que se produce dentro de él. Esta energía se puede recuperar de cuatro formas:

- Gases de escape
- Agua de refrigeración de las camisas
- Agua de refrigeración del aceite de lubricación
- Agua de refrigeración del aire comprimido por el turbocompresor (Esta energía es de mala calidad y no se suele aprovechar)

Los gases de escape suelen contener un tercio de la energía del combustible y se suele utilizar para producir vapor, agua sobrecalentada o agua caliente.

Para el mejor aprovechamiento térmico del agua del motor, las fuentes del calor de este, que son:

- Refrigeración de camisas
- Refrigeración del aceite
- Refrigeración del aire a la salida del turbocompresor

se separan en dos corrientes. Una es el circuito de alta temperatura, formado por la refrigeración de las camisas y la primera etapa de refrigeración del aire. Este agua suele salir del motor a 90 °C. La segunda corriente es el agua de baja temperatura, que forma la segunda etapa de refrigeración del aire de admisión y la refrigeración del aceite. La temperatura de salida de esta agua es de 40 a 50 °C. Este calor es de muy mala calidad, en muchas ocasiones no se aprovecha.

En el siguiente esquema se muestra una estimación del aprovechamiento de la energía de un motor:

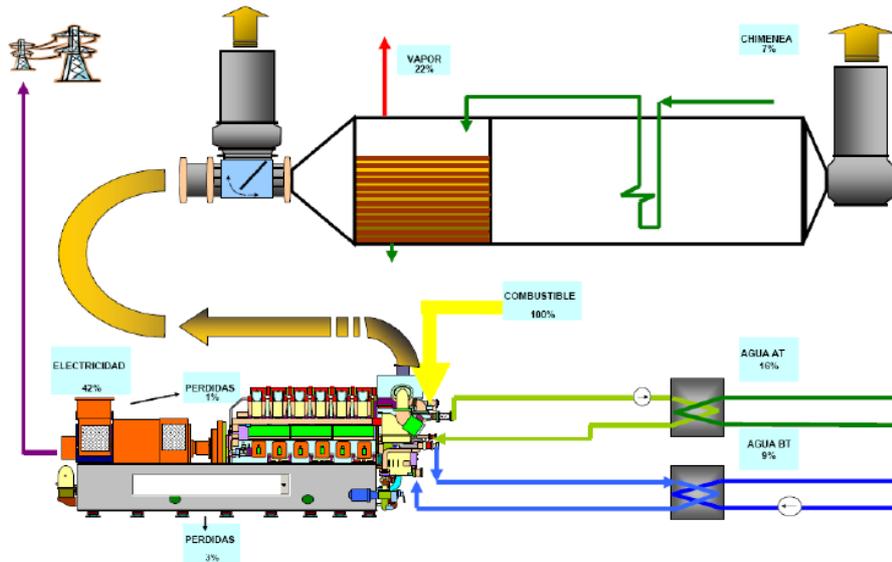


Ilustración 1. Desglose de aprovechamiento energético de un motor

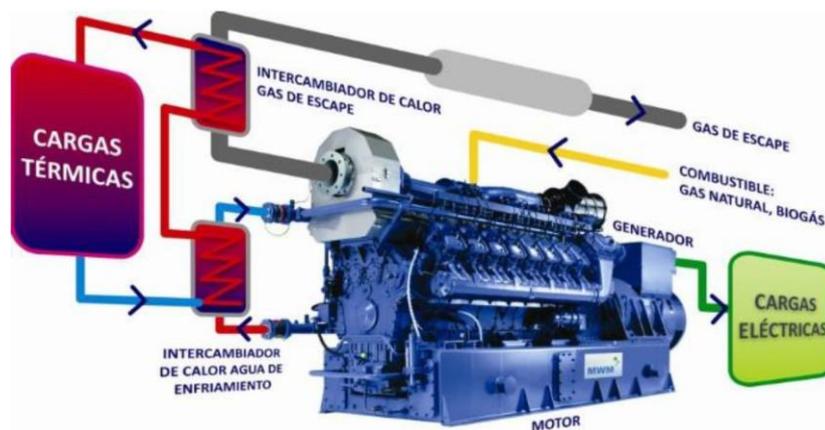


Ilustración 2. Esquema de un motor y su producción energética

3.2. Frigoríficos de absorción de LiBr-H₂O

El ciclo de un frigorífico de absorción de LiBr-H₂O funciona con agua como refrigerante y bromuro de litio como absorbente.

El COP (coeficiente de operación) define la eficiencia térmica del frigorífico. En el caso de los frigoríficos de amoníaco tienen un COP alrededor de 0.4 y 0.5. El COP de los frigoríficos de LiBr-H₂O dependerá del tipo que sean:

- Máquinas de efecto simple: COP de 0.6 a 0.7
- Máquina de doble efecto: COP de 1.1 a 1.3

Como se puede observar, el COP de las máquinas de amoniaco es menor, se debe a que trabajan a una temperatura menor.

El uso de este tipo de frigoríficos no está tan extendido como el de LiBr-H₂O por lo que su precio aumenta significativamente y están menos estandarizados en el mercado. Por el contrario, tienen la gran ventaja de que la temperatura mínima del ambiente puede ser inferior a 5 °C, por lo tanto no se congela, lo que sí ocurre con la disolución de bromuro de litio.

El funcionamiento es el siguiente. En el generador/caldera se calienta la disolución de LiBr-Agua hasta que entra en ebullición y el vapor formado se dirigirá hacia el condensador, separándolo de una disolución más concentrada, que se encaminará al absorbedor. Esta disolución es calentada por un circuito primario por el que circula agua caliente procedente de la refrigeración de los motores y por un circuito secundario por el que circulan los gases de escape.

En el condensador se enfría el vapor de agua, normalmente con agua de la torre de refrigeración.

Esta agua, ya en estado líquido es evaporada por diferencia de presión en el evaporador, adquiriendo el calor necesario del circuito del agua que se quiere refrigerar.

Por último, en el absorbedor, este vapor se mezcla con la disolución concentrada de LiBr procedente del generador/caldera, absorbiendo ésta el vapor y formando de nuevo una disolución con baja concentración que será bombeada de nuevo al generador/caldera, donde se repetirá de nuevo el proceso. Para aumentar el rendimiento del ciclo en el absorbedor es necesario de nuevo un aporte de agua de refrigeración procedente de la torre de refrigeración.

En la siguiente figura se muestra un esquema de un ciclo de refrigeración de efecto simple.

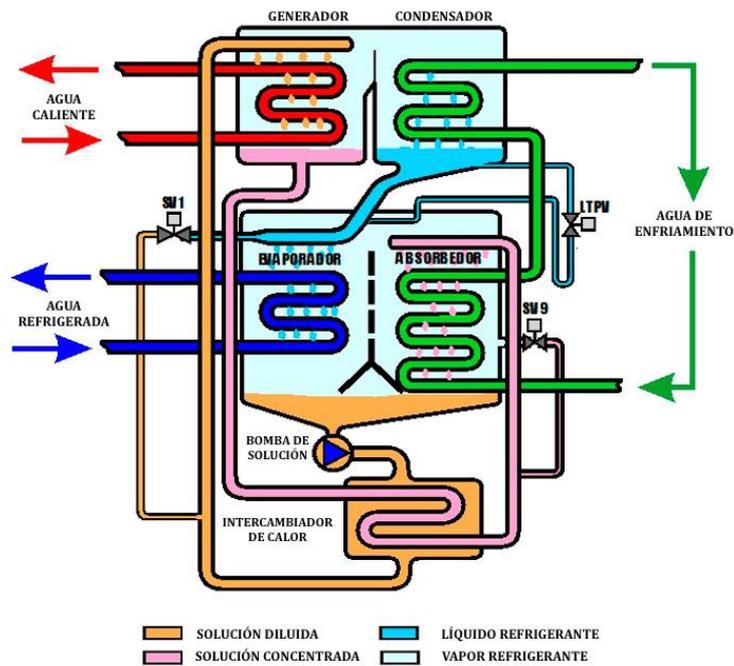


Ilustración 3. Representación de un ciclo de refrigeración

3.3. Caldera de recuperación de calor

Una caldera es un aparato a presión, donde el calor procedente de un combustible o de otra fuente de energía se transforma en energía térmica, utilizable a través de un fluido caloportador en fase líquida o vapor. Las calderas que se utilizan en las plantas de cogeneración son calderas que recuperan el calor contenido en los gases de escape de la máquina térmica de combustión (motor o turbina de gas, en el caso estudiado será el motor). En ellas se calienta agua, con esto se consigue agua caliente, agua sobrecalentada o vapor de agua y que se utiliza para mover una turbina de vapor y/o como fluido caloportador que aporta calor a alguna fase del proceso de la planta de cogeneración/trigeneración. Son el elemento de unión entre la generación de electricidad y la generación de calor útil.

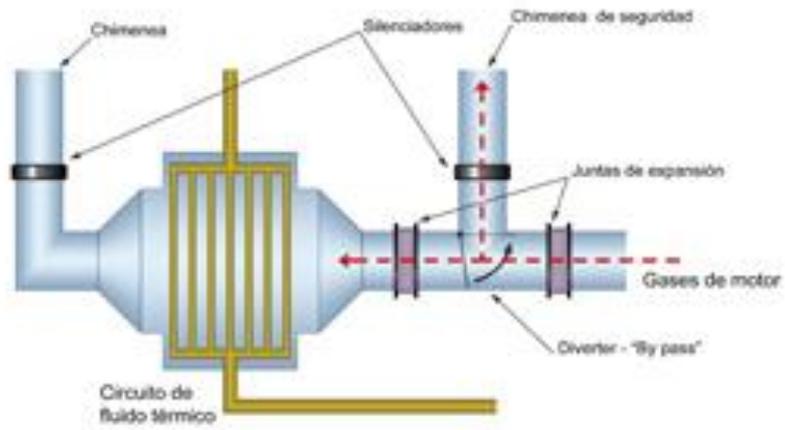


Ilustración 4. Esquema de una caldera de recuperación de calor

4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

En este apartado se muestran algunas de las ventajas que supone el desarrollo e implementación de plantas con tecnología de cogeneración. Se trata de plantas de alta eficiencia tanto en el ámbito eléctrico como energético, pero además, suponen un beneficio ambiental.

Esto último introduce una alternativa más para tratar de reducir las emisiones contaminantes en el parque de generación actual, y con ello son una alternativa a las energías renovables, lo que favorece la creación de nuevos proyectos con este tipo de plantas.

- Ahorra energía primaria al ser menor el consumo para producir un kWh eléctrico respecto a una planta térmica tradicional. Pese a que la energía primaria obtenida sea superior, el total de combustible más electricidad es menor.
- La cogeneración es fundamental para la seguridad de suministro y por lo tanto, para reducir la dependencia energética. Esto genera y proporciona una mayor competitividad a las empresas que dispongan de ello.
- Tecnología de alta eficiencia, el rendimiento global de un sistema de cogeneración es del 85%, mientras que en un sistema convencional es del 55%.

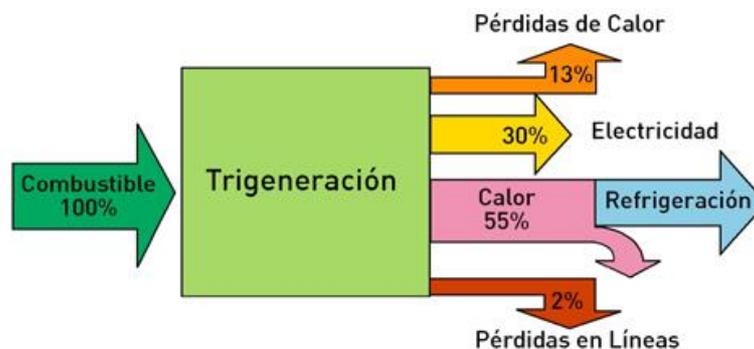


Ilustración 5. Diagrama de flujo de la energía utilizando Trigeneración con turbina de gas

- Gran versatilidad, ya que la gran variedad de sistemas hace que se puedan implementar prácticamente a cualquier escala. Sus usos van desde aplicaciones a pequeña escala en pequeñas edificaciones, edificios de uso público como hospitales, centros comerciales, y aeropuertos hasta aplicaciones en procesos industriales.
- Se reducen de manera importante las pérdidas asociadas a la red de transporte y distribución. Al tratarse de generación distribuida, se instalan en el mismo lugar o próximas a donde se requiere aprovechar la energía.

- Estabilidad del sistema eléctrico, reduce los problemas de congestión y dota al operador del sistema de mayor control de tensión, capacidad de arranque en frío y de reserva durante posibles contingencias en la red.
- Desde el punto de vista medioambiental, las plantas de cogeneración son las que menos emisiones contaminantes emiten en comparación con el resto de formas de generación que utilizan combustibles fósiles. Esto es debido a que esta tecnología tiene un mayor rendimiento global, con lo que sus emisiones por kWh eléctrico producido son inferiores.
- Los sistemas de cogeneración son favorables medioambientalmente, reduciendo las emisiones de CO₂, el principal causante del efecto invernadero, y de NO_x (óxidos de nitrógeno) perjudiciales para el ser humano y el medio ambiente.
- Si además se trata de cogeneración con gas natural como combustible, las emisiones de CO₂ se reducen hasta un 60% y las de NO_x hasta un 80%.
- Si se utiliza biomasa como fuente de energía la cogeneración se considera como una energía renovable
- Una política energética con el uso de tecnologías de cogeneración aumenta la seguridad energética nacional, más aún si se asocia a fuentes de energía renovable como la biomasa, y fomenta una mayor competencia entre productores de electricidad, ya que permite que entren en el mercado nuevos competidores.
- Generación de nuevos puestos de trabajos, los necesarios para realizar la obra de la nueva instalación y los que realizarán el mantenimiento de esta.
- Es fundamental para la seguridad de suministro y la reducción de la dependencia energética.

Por otro lado, tenemos ciertos inconvenientes como:

- Necesidad de realizar una inversión elevada (según tipo de cogeneración).
- Necesidad de gestionar la instalación (mantenimiento especializado, compra y venta de energía eléctrica, seguimiento de tarifa/prima...) y su resultado económico.
- Incertidumbre regulatoria (normativa).
- Tanto cogeneración como trigeneración habitualmente son actividades apartadas de las líneas normales de actuación de las industrias, por lo que se requieren técnicos cualificados para su gestión y mantenimiento.
- Las compañías eléctricas tienen más problemas de regulación de red debido al intercambio de energía entre los equipos del cogenerador y por los posibles fallos de suministro de los equipos del autogenerador.
- Las compañías eléctricas tienen un menor mercado, puesto que sus clientes obtienen la mayoría de energía eléctrica a través de sus módulos de cogeneración, y solo comprarán energía eléctrica en los momentos en los que

los sistemas no sean capaces de suministrar toda la potencia necesaria. Además, en ciertos momentos, el cogenerador su energía producida excedente a la red.

5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

El gran desarrollo industrial a nivel mundial ha generado una demanda creciente de energía, eléctrica y térmica. De hecho, para el año 2025 se estima un consumo de 23.072 Billones de kWh, casi el doble de lo que se consume actualmente. Para poder abastecer esta gran cantidad de energía, será necesario implementar nuevas y mejores estrategias energéticas. Por otro lado, las reservas de combustibles fósiles, petróleo, gas natural y carbón, no son infinitas, por lo que es necesario encontrar otras fuentes primarias de energía o generar técnicas y tecnologías que permitan un aprovechamiento más eficiente de los combustibles disponibles.

La utilización de combustibles fósiles es la primera fuente de emisiones de CO₂ y de otros gases contaminantes. En el mundo un 65% de la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles, 16% a partir de Energía Nuclear y solo un 19 % se genera a partir de recursos renovables, en consecuencia, la generación de electricidad es uno de los procesos más contaminantes a nivel mundial. De este análisis se concluye la necesidad de buscar métodos alternativos de generación limpia de electricidad, como lo son la energía hidráulica y la eólica, y tecnologías que utilicen eficientemente los combustibles fósiles, como la cogeneración, para poder reducir las emisiones.

La cogeneración se define como la producción de energía eléctrica y energía térmica mediante un mismo proceso de generación. Existen dos formas típicas de cogeneración, aquella en la que se opera según demanda térmica, donde la electricidad es el subproducto, y aquella en la que se opera según demanda eléctrica, donde el calor en forma de vapor es el subproducto.

La forma convencional de cubrir las necesidades de electricidad y calor es comprando la electricidad a las empresas distribuidoras y generar el calor mediante combustión, ya sea de combustibles líquidos o sólidos, en una caldera u horno. Sin embargo, una disminución considerable del consumo de combustible se logra utilizando la técnica de cogeneración.

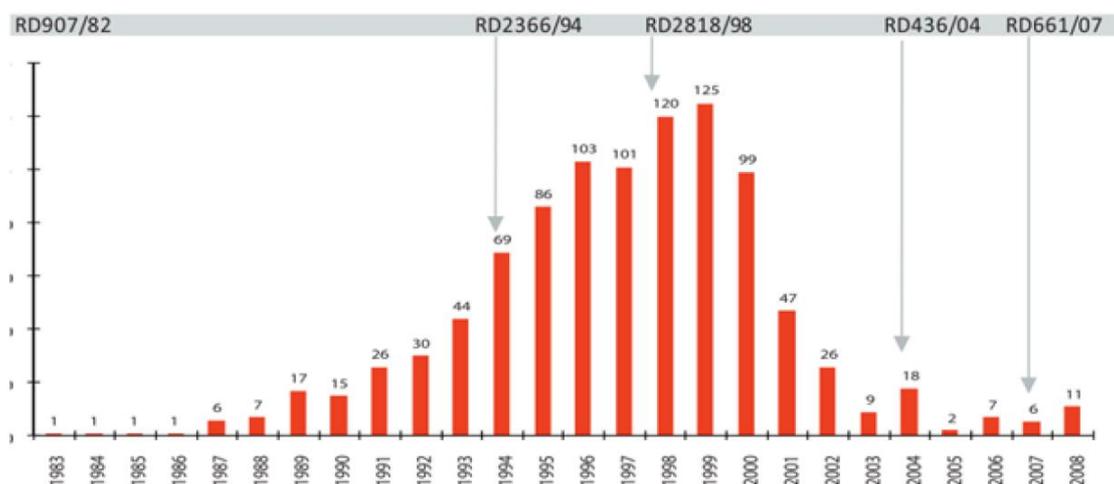
Durante la operación de las plantas termoeléctricas convencionales, grandes cantidades de energía son traspasadas a la atmósfera, a través de los circuitos de enfriamiento de las máquinas o de los gases de escape. La mayor parte de esta energía calórica puede ser recuperada y utilizada para cubrir necesidades térmicas, incrementando la eficiencia total del ciclo de 30-50% típica de una planta termoeléctrica a 80-90% de los sistemas de cogeneración.

La cogeneración es una técnica que se utiliza desde principios de siglo XX en Estados Unidos y Europa, por lo que ha tenido suficiente tiempo como para evolucionar a las tecnologías eficientes que se utilizan actualmente. Los sistemas de cogeneración más utilizados hoy en día se basan en motores de combustión interna, turbinas de gas y turbinas de vapor. Sin embargo, gracias a los avances de la tecnología, hoy en día existe en el mercado sistemas de cogeneración basados en microturbinas de gas

y celdas de combustible. Dependiendo de los requerimientos de energía eléctrica y térmica que tenga un determinado proceso, se elegirá la tecnología más adecuada. Si las potencias eléctricas son relativamente pequeñas se preferirá emplear sistemas de motores de combustión interna o si los costos de inversión lo permiten, microturbinas y celdas de combustible, pero si los requerimientos de potencia eléctrica son mayores, los sistemas de turbinas de vapor o de gas denominados ciclos combinados son más adecuados.

Analizando la evolución histórica en España, el primer instrumento que permitió su desarrollo fue la Ley 82/80 de Conservación de la Energía seguido del posterior decreto 907/82 de Fomento de la Cogeneración. Dicho marco creaba bastante incertidumbre, era impreciso y no ofrecía garantías al inversor a largo plazo. A lo largo de los años 80 se iniciaron algunas instalaciones, ya que el marco económico para ello era muy favorable, pues las tarifas eléctricas eran de las más elevadas de Europa y los programas de ayudas económicas europeas proporcionaban importantes subvenciones. En 1994 surgió la Ley del Sector Eléctrico y posteriormente apareció el Real Decreto RD 2366/94 que suponía una disminución de la retribución de los cogeneradores, pero proporcionaba un futuro estable a medio plazo. Todo esto fue el principal motor precursor de la cogeneración, ya que el precio de venta de la electricidad producida mediante cogeneración era inferior y por lo tanto beneficioso para el consumidor.

En el comienzo, uno de los mayores obstáculos fue la desconfianza de los empresarios para instalar un nuevo sistema, desconocido, y al que tenían que enfrentarse de forma solitaria y con mucha inseguridad y competir con el sector eléctrico, el cual en esa época se trataba de un gran monopolio. Para respaldar a los empresarios de la industria surgieron en los años 90 entidades públicas o semipúblicas, tales como el IDAE y el ICAEN. De esta forma los inversores se sentían acompañados y respaldados ante los posibles conflictos que puedan surgir.



Gráfica 1. Evolución de la potencia de cogeneración instalada en España entre 1983 y 2008

Las compañías eléctricas inicialmente se negaron rotundamente a la cogeneración, pero ya que no consiguieron frenar su progreso decidieron unirse a la iniciativa y

pasaron a apoyar la cogeneración. Con la aparición del marco liberalizador propugnado por la Ley 54/1997 y el posterior Real Decreto RD 2818/1998 supusieron unas consecuencias muy negativas para la cogeneración, principalmente por la falta de soporte institucional mediante la implantación de una serie de barreras. Esto provoca una falta de confianza en los inversores, empresas financieras, compañías eléctricas, etc. A todo esto, también se une la crisis petrolífera de 1999 que también afecta a los cogeneradores y por lo tanto se produce un importante freno en el desarrollo de la cogeneración.

En Diciembre del año 2001 se dio una demanda histórica de electricidad en el país que puso de manifiesto la importancia de las instalaciones de cogeneración en el Sistema Eléctrico Español.

Tras dicha situación se publicó el RD 841/2002 que proporcionaba apoyos importantes a los cogeneradores que salieran al mercado. Pero dicha situación se vio obstaculizada debido a la transformación del sector eléctrico. En este periodo las empresas eléctricas fueron migrando desde la cogeneración hacia las energías renovables. Dicha migración se vio fuertemente influenciada por la legislación vigente que incentivaba, mediante el pago de primas equivalentes.

En el año 2006 con la llegada del RD Ley 7/2006 se eliminaron varias limitaciones que frenaban la cogeneración, al independizar el concepto de Cogenerador del de Autogenerador, aportando la libertad de comercializar la totalidad de la energía producida.

El RD Ley 7/2006 no fue de aplicación a la cogeneración hasta que nació el RD 661/07 y la Transposición de la Directiva de cogeneración a través del RD 616/07.

El RD 661/07 incorpora una serie de modificaciones que afectan positivamente a la cogeneración, principalmente en materia de las retribuciones, con un nuevo incentivo a la eficiencia que asegura ventajas económicas a las plantas que cumplan con el nivel de eficiencia requerido.

La cogeneración ha venido generando históricamente el 12% de la producción nacional de electricidad y utiliza el 26% del consumo total de gas natural, suponiendo dicho consumo el 40% del consumo de gas de la industria en España.

Asimismo, los complejos industriales pueden disminuir enormemente sus costos si operan en modo de cogeneración. No obstante, las tarifas y contratos siguen favoreciendo a compañías centralizadas de electricidad, lo que inhibe e impide que la cogeneración se vuelva atractiva desde un punto de vista económico. En ese sentido, es necesario contar con un marco legal que permita competir a plantas independientes, con el fin de promover métodos más eficientes de generación de energía.

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Dadas las demandas térmicas y eléctricas anuales de la planta, se calcula la potencia que debería tener la instalación de trigeneración. En este caso, la potencia rondaría los 2 MW eléctricos. Para esta potencia se plantean varias tecnologías:

6.1. Turbina de gas

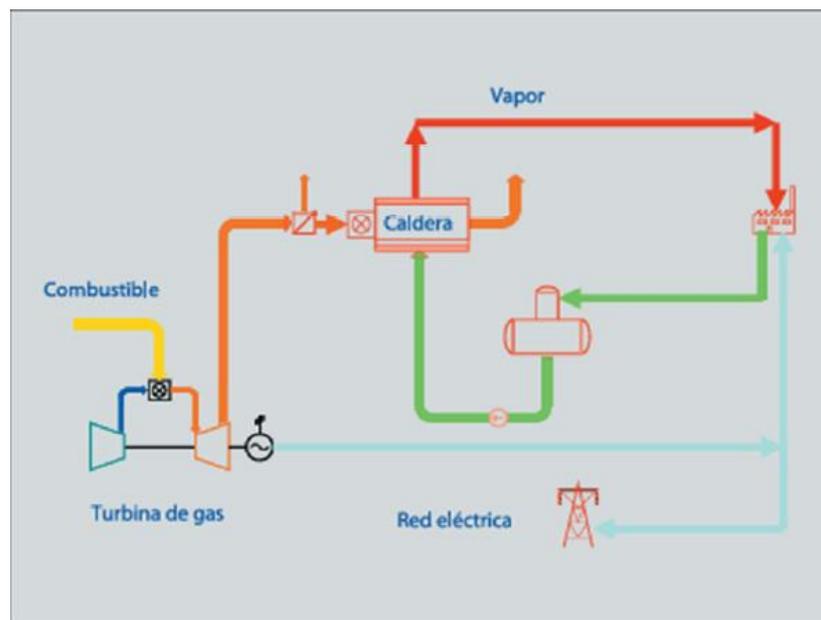


Ilustración 6. Representación de una instalación de cogeneración con turbina de gas

En los sistemas de cogeneración con turbina de gas, se quema combustible en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transforma en energía eléctrica gracias a un transformador. Su rendimiento eléctrico es menor que el de los motores alternativos. La ventaja que representan respecto a los motores es que los gases de escape de una turbina salen a unos 500 °C, superando los 400 °C de los gases de un motor, y por lo tanto, hacen más fácil la recuperación del calor, al ser el gradiente de temperatura mayor. Esta recuperación de calor se realizaría produciendo vapor de agua en una caldera de recuperación. Cabe destacar que la generación eléctrica de las turbinas de gas no es su punto más fuerte, puesto que su eficiencia eléctrica varía entre el 20 y 30%.

Este tipo de tecnología es rentable cuando la demanda de energía supera una cantidad importante y se utilizan durante un número de horas elevado, por ejemplo, industrias de alimentación, papeleras, etc. En la cogeneración con turbina de gas, el punto clave es el diseño del sistema de recuperación de calor, de él depende su rentabilidad.

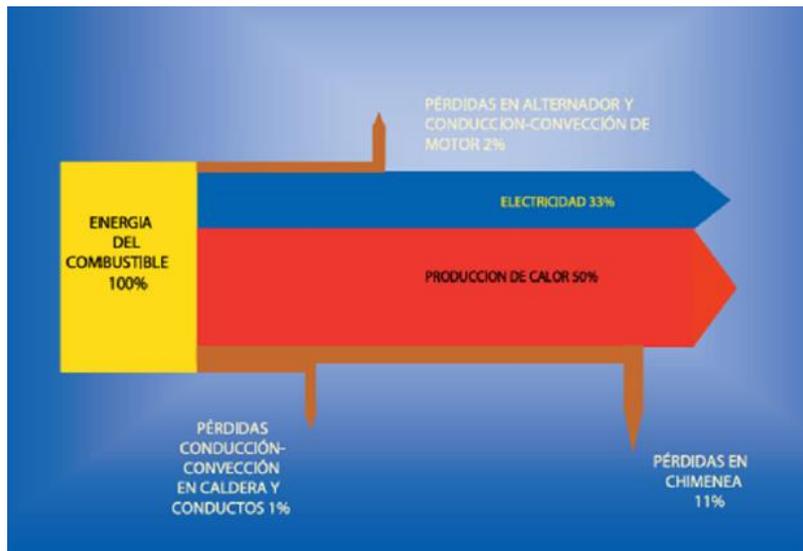


Ilustración 7. Desglose de un ejemplo de aprovechamiento energético en una instalación de cogeneración con turbina de gas

6.2. Motor alternativo de gas

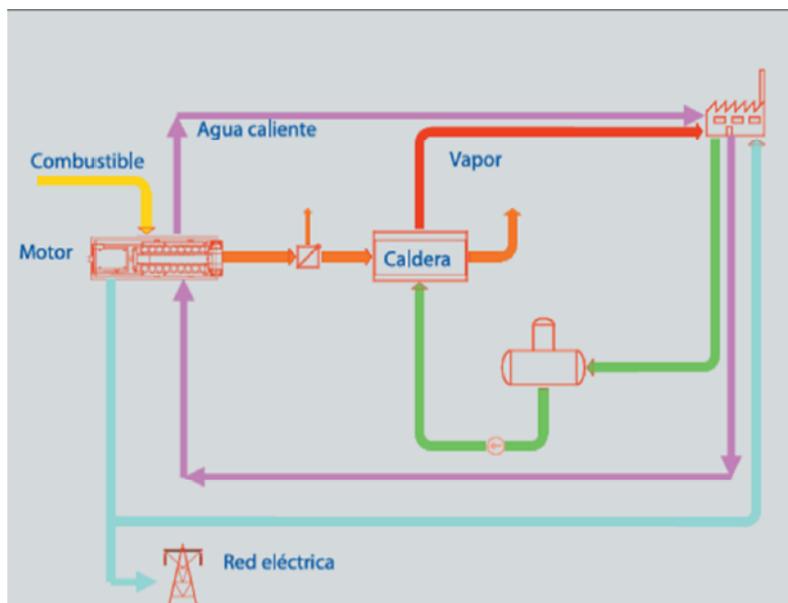


Ilustración 8. Representación de una instalación de cogeneración con motor alternativo de gas

En este tipo de sistemas, el combustible utilizado más común es el gas natural. Se basan en calentar una corriente de agua gracias al circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor y los gases de escape.

Estas instalaciones se utilizan para potencias más bajas que con las turbinas de gas. Se utilizan cuando la generación eléctrica es una de las partes más importantes en el plan de negocio.

En cuanto al suministro eléctrico, los motores son las máquinas térmicas que más rendimiento eléctrico han alcanzado (entre un 35 y un 40%), superando notablemente a las turbinas de gas anteriormente mencionadas.

Sobre la ilustración mostrada unas líneas más arriba, concretamente en el proyecto que estamos realizando, no existiría ninguna línea que produjera vapor. En el proyecto los flujos de agua que se tratan están en estado líquido. En este caso, la caldera se utilizaría para calentar más el agua en caso de que el motor no sea capaz de satisfacer la demanda térmica del hospital por sí solo.



Ilustración 9. Desglose de un ejemplo de aprovechamiento energético en una instalación de cogeneración con motor alternativa de gas

6.3. Trigeneración

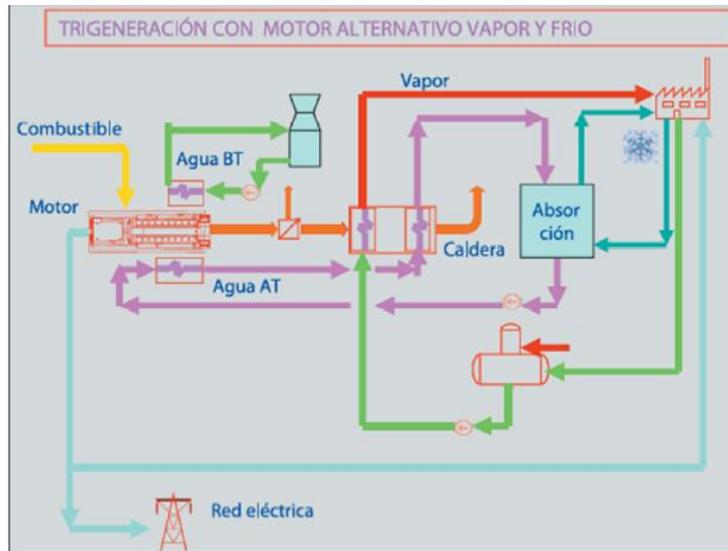


Ilustración 10. Representación de una instalación de trigeneración con motor alternativo de gas

La trigeneración se refiere a la generación simultánea de energía eléctrica, energía térmica en forma de calor (agua sobrecalentada) y energía térmica en forma de frío para refrigeración para el proceso o para las instalaciones asociadas a ésta. El frío se obtiene transformando parte o todo el agua caliente/sobrecalentada, utilizando equipos de absorción (de amoníaco o de sales de bromuro de litio), que tienen un ciclo termofísico cuyos principios se conocen antes que los de ciclo de compresión de las máquinas frigoríficas convencionales.

La trigeneración permite a la cogeneración que, en centros que no consumieran calor, acceder a centros que precisen frío y se genere energía eléctrica. Permite la utilización de la cogeneración en el sector terciario (hoteles, hospitales, centros educativos y de ocio, etc.), donde además de calor se requiere frío para refrigeración o climatización y que, debido a la estacionalidad de estos consumos (calor en invierno, frío en verano) impedía la normal operación de una planta de cogeneración clásica, sólo con producción de calor y energía eléctrica. Al aprovecharse el calor también para la producción de frío, permite una mayor estabilidad en el aprovechamiento del calor.

6.4. Alternativa seleccionada

La demanda térmica del hospital no es constante, no conviene poner una turbina, pues para que sean rentables deben trabajar a plena carga y además la potencia debe ser igual o superior a 8 MW. La potencia del hospital es bastante menor.

De entre las tres alternativas propuestas, la opción más idónea para utilizar en nuestro recinto hospitalario es la de trigeneración con motor de gas natural.

Las razones de esta elección son las siguientes:

- Como se ha comentado anteriormente, las potencias con las que deberían trabajar las turbinas de gas son muy altas, a partir de los 8 MW. En este caso, el hospital solo necesita la mitad de esa potencia, 2 MW.
- Otra de las razones es que las turbinas necesitan trabajar continuamente a plena carga. Sin embargo, la demanda de energía del hospital es variable, lo que provocaría que la turbina no trabajara en las condiciones idóneas y con el paso del tiempo, acortaría la vida de esta, lo que provocaría un mayor gasto económico y convertiría a la planta en un proyecto inviable.
- Una de las razones de la realización de un proyecto de cogeneración/trigeneración es el de contrarrestar el alto precio de la electricidad, pudiéndose generar gracias al motor/turbina. En el caso de la turbina, tienen una alta eficiencia térmica (alrededor de 50%). Sin embargo, su eficiencia eléctrica difiere bastante, siendo tan sólo del 20-30%. En los motores, la eficiencia térmica disminuye respecto a las turbinas, siendo alrededor del 40%, y la eficiencia eléctrica aumenta notablemente, oscila entre 35-40%. Como se ha comentado antes, los motores son las máquinas térmicas con mayor eficiencia eléctrica.
- Las turbinas necesitan un equipo reductor para adaptar sus revoluciones a los alternadores acoplados a la frecuencia de la red eléctrica (las revoluciones de una turbina están entre 10000 y 15000 rpm), que giran a 1500 rpm.

En el caso del hospital que hay que valorar, la opción de la turbina de gas no sería la opción correcta, pues la alta producción de energía térmica no sería aprovechada al 100%, y obligaría a desperdiciar parte de la energía generada expulsándola al ambiente. Por otro lado, al tener una eficiencia eléctrica más baja, no llegaría a satisfacer la demanda eléctrica, lo que obligaría a comprar a la red el excedente de energía eléctrica a un precio mucho más alto.

Todo esto hace que la opción del motor sea la idónea ya que tiene un mayor equilibrio entre ambas eficiencias.

Tras analizar las demandas y los costes del hospital en la situación previa a la instalación de la planta (análisis realizado en el apartado de Cálculos), se debe elegir cuantos motores se deben instalar. Las opciones que se plantean son:

- 1 motor MWM TCG 2020 V20 cuya potencia eléctrica es de 2000 kWe

Natural gas applications

NO_x ≤ 500 mg/Nm³⁴⁾

Engine type	TCG 2020	V12 K1 ¹⁾	V12 K ¹⁾	V12 ²⁾	V16 K ¹⁾	V16 ²⁾	V20 ²⁾
Electrical power ⁴⁾	kW	1,000	1,125	1,200	1,500	1,560	2,000
Mean effective pressure	bar	15.5	17.4	18.6	17.5	18.1	18.6
Thermal output ⁵⁾	±8 % kW	1,177	1,253	1,190	1,675	1,580	1,977
Electrical efficiency ⁴⁾	%	40.0	40.9	43.6	40.9	43.2	43.7
Thermal efficiency ⁴⁾	%	47.0	45.6	43.3	45.7	43.8	43.2
Total efficiency ⁴⁾	%	87.0	86.5	86.9	86.6	87.0	86.9

Tabla 1. Características técnicas del motor MWM TCG 2020 V20

- 2 motores MWM TCG 2020 V12 K1 siendo la potencia eléctrica de cada uno de 1000 kWe

Natural gas applications

NO_x ≤ 500 mg/Nm³⁴⁾

Engine type	TCG 2020	V12 K1 ¹⁾	V12 K ¹⁾	V12 ²⁾	V16 K ¹⁾	V16 ²⁾	V20 ²⁾
Electrical power ⁴⁾	kW	1,000	1,125	1,200	1,500	1,560	2,000
Mean effective pressure	bar	15.5	17.4	18.6	17.5	18.1	18.6
Thermal output ⁵⁾	±8 % kW	1,177	1,253	1,190	1,675	1,580	1,977
Electrical efficiency ⁴⁾	%	40.0	40.9	43.6	40.9	43.2	43.7
Thermal efficiency ⁴⁾	%	47.0	45.6	43.3	45.7	43.8	43.2
Total efficiency ⁴⁾	%	87.0	86.5	86.9	86.6	87.0	86.9

Tabla 2. Características técnicas del motor MWM TCG 2020 V12 K1

- 2 motores DEUTZ TCG 2020V12 siendo la potencia eléctrica de cada uno de 999 kWe

DEUTZ POWER SYSTEMS

5-19	ESPECIFICACION TECNICA GRUPO MOTOGENERADOR TCG2020V12, Gas Natural	
Rev: Ab- 07	CLIENTE	
17/07/08	Nº DE MOTORES : 1 x TCG 2020V12 PROYECTO: 08G131A2 PLANTA :	

1.3.- Balances energéticos. Gas Natural.

Potencia mecánica del motor a plena carga	kW	1.028
Rendimiento mecánico del motor	%	43,5
Potencia a $\cos \phi = 1$	KW	999
Rend. Elec. del GRUPO	%	42,3
Consumo combustible ISO	KW	2363
Calor disipado en circuito de camisas	KW	499
Calor de gases de escape hasta 120°C	KW	524
Suma calor útil	KW	1023
Enfriamiento mezcla	KW	91
Radiación (motor + alternador)	KW	74
Aire de combustión	kg/h	5053
Gases de escape	kg/h	5228
Temp. gases de escape	°C	445

Tabla 3. Características técnicas del motor DEUTZ TCG 2020V12

6.5. Alternativas de motores

6.5.1. Caso 1: Un motor MWM TCG 2020 V20 (2000 kWe)

Para este caso, se muestran en el apartado de Cálculos las tablas realizadas en Excel, en las que se vuelven a calcular la demanda y la energía generada y los gastos que conllevan.

En el caso de la energía eléctrica, el motor es capaz de generar la gran parte de la demanda sin sobrepasarse mucho, lo que le hace muy eficiente en este apartado. En algunos meses, la energía sobrante se utilizará para alimentar el frigorífico de compresión, vendiendo el sobrante a la red eléctrica al precio establecido en unos apartados más adelante.

En la parte de la energía térmica (calor y frío), el motor no es capaz de suministrar toda la energía necesaria en algunos meses, lo que conlleva utilizar la caldera auxiliar y que esta sea la que produzca la falta de energía. El hecho de que el motor no sea capaz de satisfacer este tipo de demanda no es tan problemática, pues la caldera auxiliar utiliza el mismo combustible que el motor, y es a un precio mucho más reducido que el de la electricidad comprada. Si el motor no fuera capaz de producir toda la electricidad, el problema sería algo más serio, pues la electricidad comprada es bastante más cara que el gas natural.

En los meses en los que hay un excedente de calor, este se aprovecha para alimentar el frigorífico de absorción (en la mayoría de los meses) y así no desaprovechar el calor generado, lo que implica no tener que comprar o utilizar energía eléctrica para utilizar el frigorífico de compresión y generar el frío necesario.

6.5.2. Caso 2: Dos motores MWM TCG 2020 V12 K1 (1000 kWe cada uno)

En este caso, también se realiza una tabla en el programa Excel mostradas en el apartado de Cálculos, mostrando la energía generada y la demanda del hospital, y los gastos que se deben realizar para satisfacer estas demandas.

En primer lugar, se observa que el motor no es capaz de satisfacer toda la demanda eléctrica en la mitad de los meses, teniendo que comprar energía extra a la red eléctrica. Aun así, esto no supone un gasto muy alto. Al igual que el caso 1, los meses que hay un excedente eléctrico (en la mayoría de los meses), esa energía se utiliza para alimentar al frigorífico de compresión en caso de que sea necesario, y el sobrante, en caso de que lo haya, se venderá a la red eléctrica.

En segundo lugar, se estudia la demanda térmica. En este caso, el motor seleccionado tiene una eficiencia térmica y una potencia térmica muy alta con respecto a las otras dos alternativas. Esto trae una serie de inconvenientes, entre ellos, se produce demasiada energía térmica, la cual hace que baje la rentabilidad respecto a las otras dos alternativas.

6.5.3. Caso 3: Dos motores DEUTZ TCG 2020V12 (999 kWe cada uno)

Al igual que el resto de casos, se realiza la correspondiente tabla para realizar los cálculos necesarios.

En relación a la energía eléctrica, se puede analizar y concluir lo mismo que en los casos anteriores, ya que tienen la misma potencia eléctrica.

Sin embargo, en relación a la energía térmica, tiene una gran ventaja respecto al caso 2, ya que, aunque hay meses en los que se produce una pérdida de dinero por generar más energía de la realmente necesitada, esta pérdida es menor que en el caso 2. En el caso 1, esta pérdida de dinero por exceso de producción es menor todavía que en este caso. Se debe en parte a esto el hecho de que el caso 1 sea más rentable económicamente que el resto de las alternativas.

6.6. Alternativas de frigoríficos

Por último, se plantea el análisis de alternativas para el frigorífico de absorción. Hay dos tipos de frigoríficos entre los que se puede escoger:

- Frigorífico de absorción de LiBr-Agua
- Frigorífico de absorción de NH₃-Agua

Se ha explicado en el apartado del Alcance que el COP del frigorífico de bromuro de litio es mayor que el del amoniaco. A parte de esto, los frigoríficos de amoniaco no están tan extendidos y su precio es mucho mayor, además de no estar tan estandarizados.

Además, una ventaja del frigorífico de amoniaco respecto del de bromuro de litio es que puede enfriar a una temperatura por debajo de 0 °C, algo que el de bromuro de litio es incapaz porque se congelaría. Pero en la situación en la que está la planta a dimensionar, el agua no se va a enfriar por debajo de 0 °C, por lo que no es necesario utilizar esta tecnología.

Por todas estas razones se concluye que el tipo de frigorífico a instalar serán dos unidades de frigorífico de absorción de simple efecto de LiBr, concretamente utilizaremos un modelo de la marca Broad:



■ EFECTO POR AGUA CALIENTE

BH: doble efecto por agua sobrecalentada

<p>Funcionamiento con agua sobrecalentada a alta temperatura (entrada nominal 180°C), como energía primaria, para producir agua fría.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produce agua fría • Rango de potencia en frío: 233 – 11630 kW • Capacidad ajustable del: 5% al 115 % • COP en frío: 1,41 	<p>Condiciones de funcionamientos nominales:</p> <p>Agua fría: 7°C – 14°C Agua de torre: 37°C – 30°C Agua del generador: 180°C – 165°C</p>
--	---

BDH: simple efecto por agua caliente

<p>Es un complemento esencial para plantas de trigeneración donde se utilice agua a una temperatura superior a 85°C o bien aplicable en procesos donde, necesitando agua fría, exista una fuente de agua caliente residual</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produce agua fría • Rango de potencia en frío: 209 – 6138 Kw • Capacidad ajustable del: 5% al 115 % • COP en frío: 0,76 	<p>Condiciones de funcionamientos nominales:</p> <p>Agua fría: 7°C – 14°C Agua de torre: 37°C – 30°C Agua del generador: 98°C – 88°C</p>
---	---

PAS
10

LUMELCO

Ilustración 11. Catálogo del frigorífico de LiBr de Broad

7. ANALISIS DE RIESGOS

A la hora de realizar un proyecto como el que se está analizando en el presente documento, debe tenerse en cuenta que existen una serie de riesgos a la hora de abordar el mismo. Por ello, es importante tenerlos en cuenta de forma previa para así poder atajarlos de forma adecuada y tratar de evitar posibles problemas. Los riesgos de este proyecto se explican a continuación.

7.1. Rotura de los motores y/o frigoríficos de absorción

La rotura por completo de uno o de todos los motores y/o de los frigoríficos, podría provocar una pérdida económica y de rentabilidad.

Sin embargo, la fiabilidad de los motores es muy alta y los fabricantes de motores aseguran una disponibilidad de estos casi absoluta. Con un mantenimiento adecuado un motor no debería sufrir una avería con grandes consecuencias. En el caso de los frigoríficos su fiabilidad también es bastante alta.

Los demás elementos de la instalación no se tienen en cuenta en este análisis ya que su precio es bastante más bajo que el de los motores y los frigoríficos, y no afectarían tanto a la rentabilidad del proyecto en caso de su rotura o no disponibilidad.

Por tanto, la probabilidad de que esto ocurra es muy baja. El impacto sería alto, en caso de que sucediese.

7.2. Variación de la normativa

La normativa que regula la cogeneración cambia de manera muy regular y cada muy poco tiempo. Esto hace que sea un tipo de tecnología en la que sea muy difícil realizar previsiones que ayuden a la realización del proyecto. Los precios del combustible y de la luz son los mayores factores a tener en cuenta en el estudio del proyecto. Con una normativa poco estable hace que esta tecnología no sea muy atractiva en muchas ocasiones. El impacto es alto y su probabilidad, según se ha demostrado los últimos años, es muy alta.

7.3. Ponderación de los riesgos

Una vez presentados los diferentes riesgos del proyecto, se estudia la importancia que tiene cada uno de ellos en función del impacto y probabilidad de ocurrencia que

tienen. Para ello se utiliza la matriz probabilidad-impacto, en la que se sitúan cada uno de los problemas para poder ser ponderados.

		PROBABILIDAD				
		Raro	Poco probable	Posible	Muy probable	Casi seguro
CONSECUENCIAS	Despreciable	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	Menores	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Moderadas	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Mayores	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Catastróficas	Medio	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto

Ilustración 12. Matriz de probabilidad-impacto

El riesgo A tiene una probabilidad rara y unas consecuencias mayores. Como se ha explicado antes la fiabilidad de estos elementos de la instalación es muy alta, por lo que es poco probable que se dé esta situación. Por lo tanto, la ponderación de este riesgo es media.

El riesgo B tiene una probabilidad posible y las consecuencias se podrían catalogar como moderadas e incluso mayores ya que, como se ha explicado anteriormente, una normativa podría suponer que se tome la decisión de no instalar una planta de este tipo.

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Este proyecto pretende estudiar la viabilidad y realizar el dimensionamiento de la instalación de la planta de trigeneración de un recinto hospitalario, en Vizcaya. Para realizar esto, es necesario disponer de información relativa al hospital, por ejemplo, los datos de las demandas reales de años anteriores (demanda eléctrica, ACS, calefacción y frío).

El esquema de la instalación de trigeneración del hospital que estamos estudiando se ha incluido en el apartado de Anexos II.

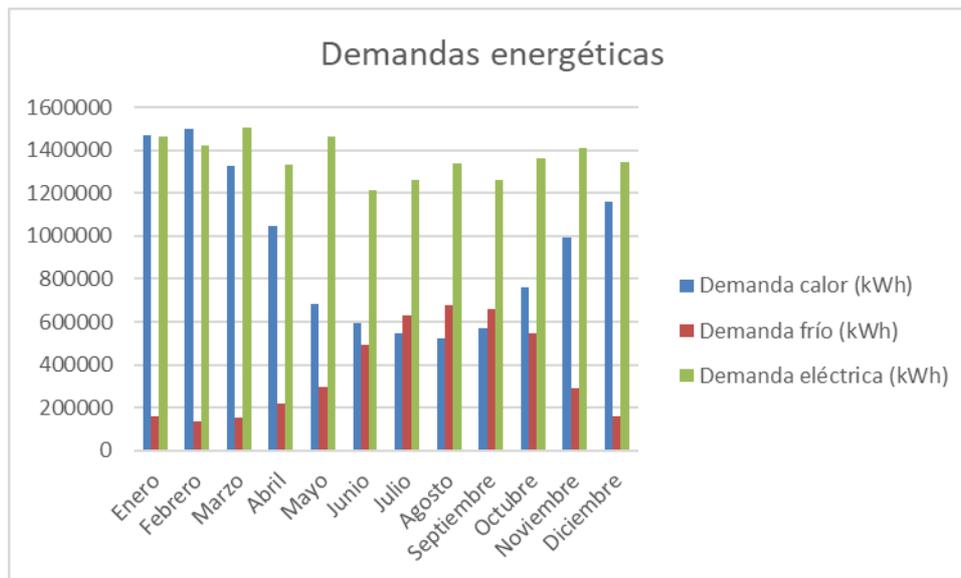
Los datos de los que partimos inicialmente son los relativos a las demandas en años anteriores. Para la realización de este proyecto se realizará teniendo en cuenta la media de las demandas de ambos años.

Los datos de las demandas energéticas se muestran en la siguiente tabla:

	Demanda calor (kWh)	Demanda frío (kWh)	Demanda eléctrica (kWh)
Enero	1468750	160350	1465100
Febrero	1500000	137500	1422850
Marzo	1327777	155000	1505400
Abril	1049241	217500	1335360
Mayo	682326	295000	1465750
Junio	596796	495000	1212250
Julio	548680	630000	1258400
Agosto	521703	677775	1339462
Septiembre	572367	660350	1260299
Octubre	759298	545000	1363938
Noviembre	991221	287500	1409993
Diciembre	1162793	157500	1343922
Total	11180949	4418475	16382724

Tabla 4. Tabla de demandas eléctricas y térmicas del hospital en años anteriores

En el siguiente diagrama se representa gráficamente las demandas de la tabla anterior:



Gráfica 2. Representación gráfica de las demandas del hospital

Como se puede observar en la tabla y la gráfica mostradas, la demanda eléctrica es bastante constante a lo largo del año. Sin embargo, en las demandas térmicas no ocurre lo mismo. En la demanda de calor, los meses de invierno la demanda es alta, mientras que en los meses más calurosos, su demanda decrece mucho. En el caso de la demanda del frío ocurre lo contrario. Los meses de invierno su demanda es mínima, y en los meses de verano su demanda se maximiza.

Como se ha explicado en apartados anteriores, para satisfacer las demandas se implantaría una planta de trigeneración con dos motores alternativos de gas natural junto con dos frigoríficos de absorción. Estos últimos solo funcionarán en los instantes en los que haya un excedente de energía térmica (Agosto no incluido). En los momentos en los que este excedente sea nulo, se utilizarán los frigoríficos de compresión. La razón de esta decisión es que el frigorífico de absorción permite obtener frío gracias a la energía térmica. En los meses más calurosos suele haber un exceso importante de energía térmica que, de no ser aprovechado por estos frigoríficos, se desaprovecharía y habría una pérdida de dinero. En los meses en los que no hay un excedente térmico, la mejor opción es utilizar un frigorífico de compresión, el cual tiene un COP mucho mayor que el de absorción y es alimentado por energía eléctrica.

Esta planta debe satisfacer la gran parte de la demanda térmica y producir energía eléctrica que será consumida o vertida a la red eléctrica. Antes de realizar el estudio del dimensionamiento de la planta, se han de tener en cuenta diversos factores:

- Cuantía de la inversión
- Precios del combustible
- Precios de la electricidad
- Características de la instalación

La planta está prevista para funcionar la gran mayoría de las horas del año excepto durante el mes de Agosto, en el que se realizan labores de mantenimiento de los equipos. En total funcionará un total de 8030 horas anuales.

Se realiza una estimación inicial de la potencia que debería tener el motor que se instale (es una estimación para buscar los motores en el catálogo, no es un cálculo para calcular la potencia final de los motores). Dicha estimación se detalla en el apartado de Cálculos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Potencia eléctrica estimada del motor (kW) = 2040 kW
- Potencia térmica estimada para el motor = 2351 kW

Se puede comprobar que hay una diferencia entre las potencias estimadas. Teniendo en cuenta que las potencias eléctricas y térmicas de los motores alternativos de gas son muy parejas, se deben tener en cuenta otros factores para seleccionar la potencia del motor, como son por ejemplo, los precios de la electricidad y del gas natural. En este proyecto los precios que se han obtenido han sido los siguientes:

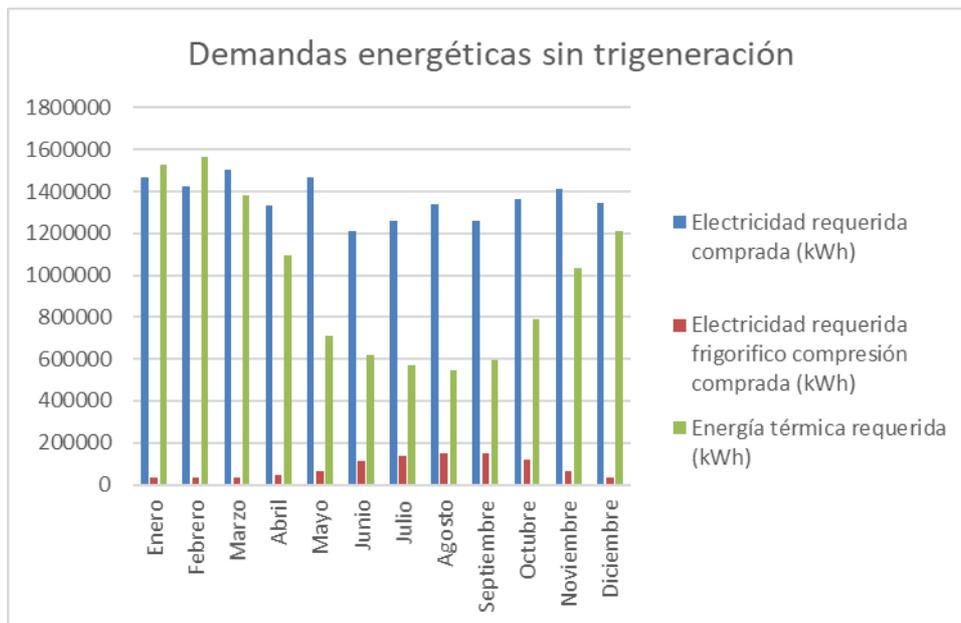
- Término fijo del precio de la electricidad comprada: 0,049 €/kW·día = 1,49 €/kW
- Término variable del precio de la electricidad comprada: 0,08609 €/kWh
- Término fijo del precio del gas natural: 181,72 €/mes (se desprecia para la realización de los cálculos)
- Término variable del precio del gas natural: 0,03427 €/kWh
- Término variable del precio de la electricidad comprada: 0,05342 €/kWh

Como se puede comprobar, el precio de la electricidad comprada es más de 2,5 veces que el del gas natural. Esto hace que el objetivo de la instalación de la planta de trigeneración, sea minimizar la compra de energía eléctrica a la red, y consumir la autoproducida gracias al generador conectado al motor que utiliza gas natural como combustible. En el caso que faltara demanda térmica por satisfacer, esta sería satisfecha gracias a la caldera auxiliar, que utilizaría también como combustible gas natural.

Por otra parte, si se decidiera satisfacer toda o la mayor parte de la demanda térmica, se produciría un gran excedente de energía eléctrica, lo que nos provocaría perder una gran cantidad de capital, que a su vez provocaría una disminución de la rentabilidad y viabilidad de la planta.

Por lo tanto, se concluye que se va a dimensionar la planta con el objetivo de satisfacer al máximo la demanda eléctrica. La energía térmica que no llegue a satisfacer el motor, se encargará la caldera auxiliar de generarla.

Antes de dimensionar el motor más adecuado, es de gran importancia analizar la situación del hospital anterior a la instalación de la planta de trigeneración.



Gráfica 3. Demandas energéticas sin trigeneración (situación anterior)

En la situación anterior a la cogeneración, toda la energía eléctrica era comprada a la red y la energía térmica se satisfacía gracias a una caldera que utiliza gas natural como combustible. Esto provocaba que se necesitara comprar mucha energía eléctrica a un precio alto. En este caso, la energía frigorífica se satisfacía con electricidad, ya que en este caso se utilizaban dos frigoríficos de compresión, los cuales tienen un COP de 4.5, que implica que la electricidad que requieren para ser alimentados sea mucho menor que la energía frigorífica que extrae.

Para calcular cual es el gasto económico anual, es tan sencillo como multiplicar la cantidad energética de cada tipo por el precio de la electricidad o del gas, dependiendo el caso. En el caso de la electricidad y energía térmica frigorífica se multiplicará por el precio de la electricidad comprada, y en el caso de la energía térmica para ACS y calefacción se multiplicará por el precio del gas natural. Estas operaciones quedan reflejadas en la tabla adjuntada en los Anexos, en la que se puede observar tanto la producción energética como los gastos asociados.

El gasto que supone en la situación sin Trigeneración se resume en:

Gastos SIN TRIGENERACIÓN	
Concepto	Gasto
Coste electricidad comprada	1.410.451 €
Coste electricidad comprada (frío)	84.534 €
Coste electricidad término fijo	36.090 €
Coste gas natural	399.167 €
Coste total	1.930.243 €

Tabla 5. Gastos económicos en la situación sin Trigeneración

Una vez estudiada la situación anterior del hospital, se procede a seleccionar la mejor opción de los motores entre las tres propuestas, y posteriormente se comparará con la situación anterior que se ha analizado anteriormente. Las opciones que se barajan son dos modelos distintos de la marca alemana MWM y un modelo de la marca también alemana DEUTZ, y son estas:

- 2 motores MWM TCG 2020 V20 siendo la potencia eléctrica de cada uno de 2000 kWe
- 1 motor MWM TCG 2032 V16 cuya potencia eléctrica es de 4300 kWe
- 1 motor DEUTZ TCG 2020V12 cuya potencia eléctrica es de 999 kWe

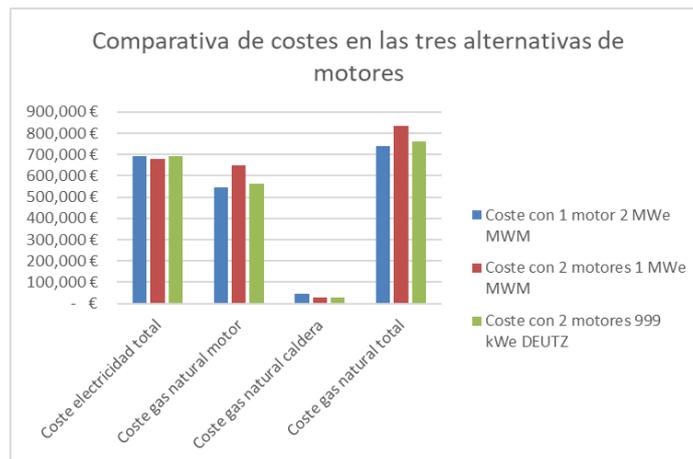
Los cálculos correspondientes se han realizado en unas tablas con el programa informático Excel, las cuales están adjuntas en el apartado de Cálculos de este documento, donde se explican con más detalle, con el objetivo de hacer una lectura más fluida del trabajo.

Tras realizar los diferentes cálculos en las tres opciones que tenemos, se suman todos los gastos restándoles los ingresos (la electricidad vendida a la red eléctrica) y se realiza una tabla como la siguiente, en la que comparamos ambas situaciones entre ellas y con la situación sin trigeneración:

Concepto	Coste con 1 motor 2 MWe MWM	Coste con 2 motores 1 MWe MWM	Coste con 2 motores 999 kWe DEUTZ
SIN TRIGENERACIÓN			
Coste electricidad total	1.531.075 €	1.531.075 €	1.531.075 €
Coste gas natural	399.167 €	399.167 €	399.167 €
Total	1.930.243 €	1.930.243 €	1.930.243 €
CON TRIGENERACIÓN			
Coste electricidad total	693.157 €	681.590 €	691.562 €
Coste gas natural motor	544.089 €	647.843 €	563.078 €
Coste gas natural caldera	44.677 €	25.960 €	28.632 €
Coste gas natural total	738.765 €	836.427 €	761.883 €
Total	1.431.922 €	1.518.016 €	1.453.445 €
Balance sin trigeneración-con trigeneración			
Ahorro	498.320 €	412.226 €	476.798 €

Tabla 6. Comparación de costes entre las tres alternativas

La primera conclusión que se puede obtener de este estudio es que la instalación de la planta de trigeneración planteada es viable, pues cada año se ahorran más de 400000€ con cualquiera de las tres opciones, en dos de ellas incluso más de 475000 €. El tipo de viabilidad se estudia en los apartados siguientes.



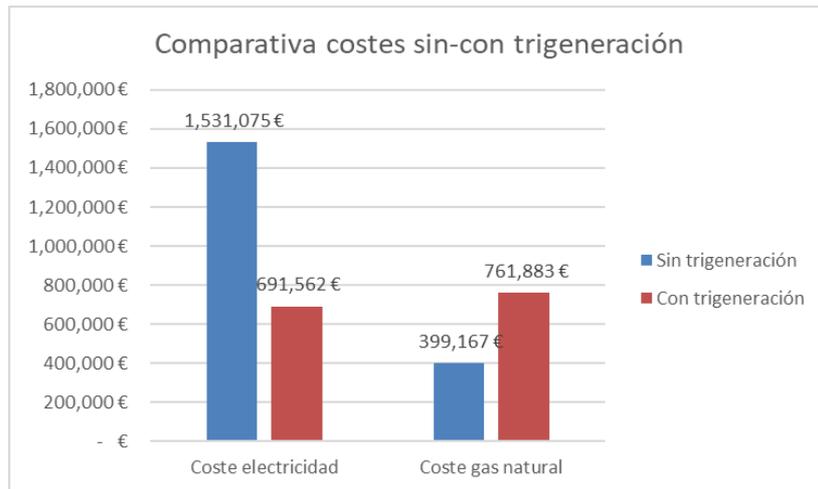
Gráfica 4. Comparativa de costes en las tres alternativas de motores

Ahora se debe escoger la mejor alternativa de las tres planteadas. La primera conclusión que se puede realizar es que entre las dos opciones de los dos motores, es mejor opción la de los motores de la marca DEUTZ, por una razón económica importante. Se puede ver como la razón de esta diferencia se debe al bajo rendimiento eléctrico y el alto rendimiento térmico de los motores de MWM, lo que obliga a comprar más electricidad y a desechar más energía térmica.

Entre las dos opciones que quedan disponibles, la mejor valorada desde un punto de vista económico es la de un solo motor de la marca MWM. Sin embargo, escoger la otra opción tiene la ventaja de que dos motores se adaptan mucho mejor a la demanda que uno solo, pudiendo trabajar a plena carga uno de ellos mientras el otro funciona a menos carga.

Aparte de esto, en el caso de alguna labor de mantenimiento esporádica que se debiera hacer, no provocaría el apagado completo de la planta, si no que parte de ella podría continuar en funcionamiento.

El mismo razonamiento se podría realizar para la situación de rotura de uno de los motores, que permitiría a la planta continuar funcionando, aunque esta situación es muchos más improbable, ya que la fiabilidad y disponibilidad de los motores es muy elevada.



Gráfica 5. Comparativa costes sin-con trigeneración

En la Gráfica 5, podemos corroborar todas las explicaciones que se han realizado anteriormente. Gracias a la trigeneración, los gastos en electricidad comprada disminuyen más de la mitad. El coste del gas natural aumenta también el doble, pero en este caso es algo relativo, ya que lo que se gastaba anteriormente en gas natural es mucho menos que la electricidad comprada. Gracias a la alta eficiencia de la planta, permite que esta no tenga que comprar más fuente primaria, ya que se aprovecha con una eficiencia muy alto.

Por último, se calcula la potencia que deben tener los frigoríficos de absorción, los cuáles deben cubrir toda la demanda del frío del mes que más demande de este tipo de energía. En este proyecto, ese mes es Septiembre, con una demanda de frío total de 660350 kWh. La potencia obtenida es de 905 kW. Como se van a instalar dos frigoríficos, cada uno tendrá una potencia de 453 kW.

9. DESCRIPCIÓN DE TAREAS

Para realizar un proyecto de la manera más eficiente hay que realizar una planificación previa. Con ella podemos estimar el tiempo que conlleva realizar cada una de las tareas en las que dividimos el proyecto y, por lo tanto, también podremos estimar la duración total del proyecto.

En el diagrama de Gantt se muestra el tiempo de dedicación que se prevé para cada tarea que compone el proyecto.

El proyecto tiene una duración total de 145 días. El proyecto comienza el día lunes 2 de octubre de 2017 y finaliza el día viernes 23 de febrero de 2018.

Las fases principales que componen el proyecto son las siguientes:

FASE 1: DOCUMENTACIÓN

En esta primera fase del proyecto se pretende tener una primera toma de contacto con este y conocer sus objetivos. Se necesitará realizar una investigación en artículos, documentos, etc. relacionados con el tema a tratar. Las tareas que lo componen son:

- Definición del contexto
- Definición de los objetivos
- Definición del alcance

FASE 2: BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

El segundo paso es buscar la información acerca de las normativas vigentes que afectan al proyecto. También consta de la búsqueda a cerca de las diferentes tecnologías existentes para la realización del proyecto y seleccionar unos determinados equipos para estudiarlos posteriormente. Por lo tanto, se necesitará:

- Documentación sobre la normativa correspondiente
- Documentación sobre las tecnologías disponibles

FASE 3: ANÁLISIS DEL ENTORNO

Se estudia el contexto del hospital y las características de la zona en la que está ubicado, en el caso de este proyecto será Bilbao, para determinar las respectivas

demandas de las viviendas, que nos permitirán realizar el estudio de la planta en los siguientes pasos (calefacción, ACS, electricidad):

- Cálculo de la demanda eléctrica
- Cálculo de la demanda de calefacción
- Cálculo de la demanda de ACS

FASE 4: REALIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS

En este apartado se realizan los cálculos necesarios para el análisis de viabilidad de la planta además de dimensionar la instalación. Se puede decir que es la parte más importante del proyecto. Los apartados que tiene esta fase son:

- Cálculo de la demanda del hospital
- Cálculo de la situación anterior a la trigeneración
- Cálculo de la situación con dos motores
- Cálculo de la situación con un motor
- Comparación entre ambas opciones y decisión final

FASE 5: OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Tras haber realizado los cálculos relativos a la situación sin trigeneración y con trigeneración, se recopila toda la información y se decide qué solución tomar. Se realizan gráficas para demostrar que la opción escogida es la idónea, comparando las diferentes alternativas. Fases:

- Resultados
- Realización de las gráficas
- Comparaciones y conclusiones

FASE 6: REDACCIÓN DE LA MEMORIA

Una vez finalizada la correspondiente parte práctica del proyecto, se inicia la redacción del documento, siempre dentro de la normativa que establece al inicio del curso la Escuela de Ingenieros de Bilbao para la redacción de proyectos. Se trata de explicar detalladamente de forma clara el trabajo realizado.

FASE 7: REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES

En una reunión final con el director del TFG, este selecciona y transmite al estudiante, posibles modificaciones del trabajo en determinados apartados y últimas puntualizaciones, con el objetivo de mejorar y poner fin al trabajo, y que esté listo para la entrega.

FASE 8: PREPARACIÓN DE LA DEFENSA DEL TFG

Tras la finalización de la redacción y entrega del trabajo, el último paso es la presentación de este frente a un tribunal. Para ello se dedica un tiempo para la realización de la presentación del Power Point y prepara correctamente la correspondiente presentación.

10. DIAGRAMA DE GANTT

A continuación, se representa, mediante el diagrama de Gantt, las 7 tareas principales que se han mencionado en el apartado anterior, así como las subtareas que componen cada fase. Cada tarea principal y sus subtareas, como se puede observar en la ilustración de la siguiente página, están acompañadas de su duración.

Análisis y dimensionamiento de la planta de trigeneración de un hospital

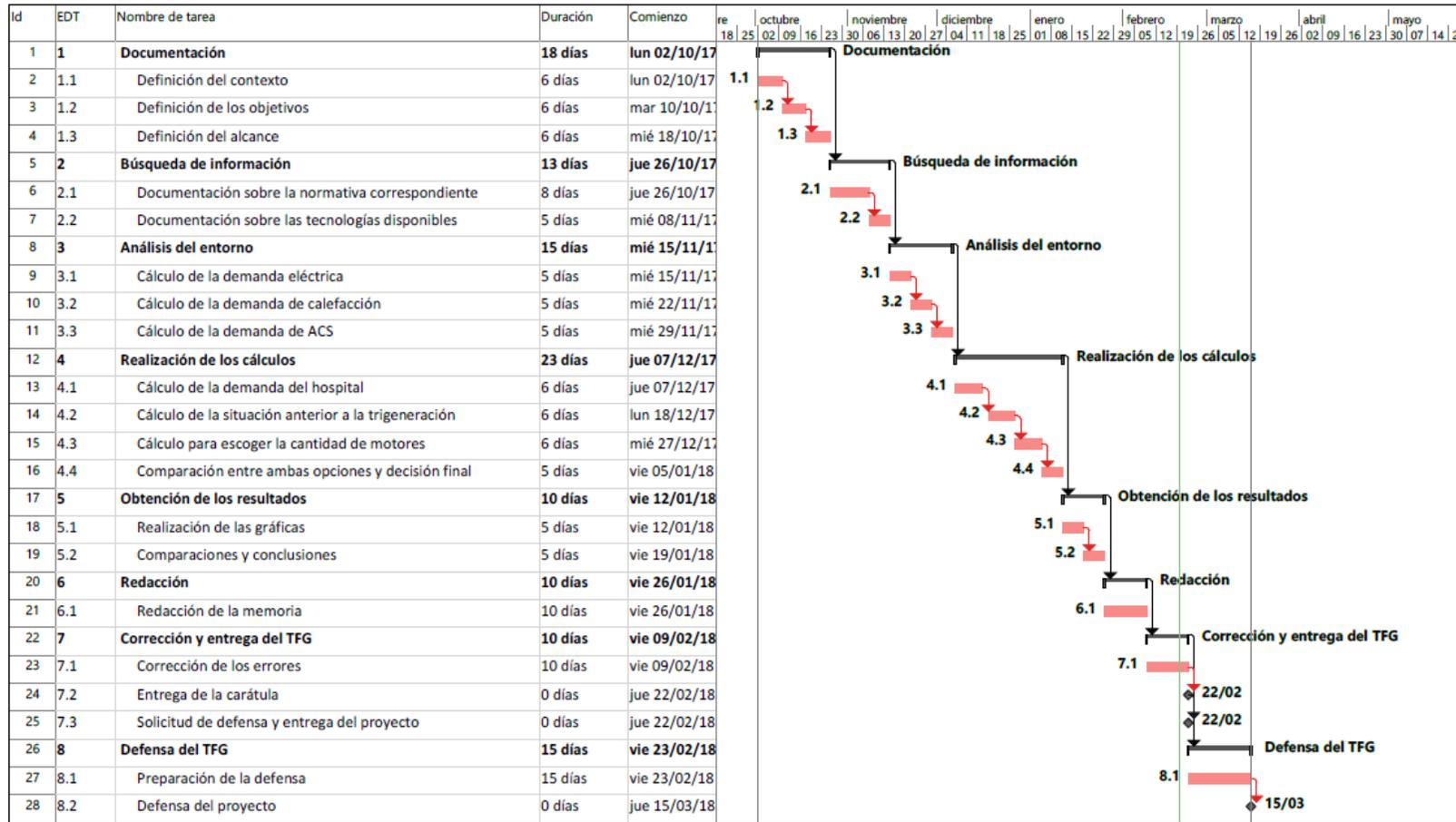


Ilustración 13. Diagrama de Gantt del proyecto

11. CÁLCULOS

Los cálculos más importantes, aparte de ser la gran mayoría, se han ubicado en el apartado de Anexos III.

El resto de cálculos realizados a lo largo del proyecto se exponen a continuación:

Un cálculo que nos facilita el trabajo inicial en el proyecto es hacer una estimación inicial de la potencia eléctrica que debería tener el motor o los motores, y así poder escoger de los catálogos de los que se dispone, el motor o motores más adecuados, se puede dividir la demanda eléctrica entre el número de horas:

$$\text{Potencia eléctrica estimada del motor (kW)} = \frac{\text{Demanda eléctrica total del año}}{\text{Horas funcionamiento de un año}}$$

Esto da un resultado de 2040 kW. Esta potencia debería estar dividida entre la eficiencia del generador, pero se ha supuesto que es del 100% ya que es muy elevada.

Ahora se puede estimar la potencia térmica que debería tener el motor. Para ello se tiene que tener en cuenta varios factores, como son el COP del frigorífico de absorción (0.76) y la eficiencia de la caldera de recuperación (90%). Las eficiencias de los intercambiadores de ACS y calefacción se suponen del 100%. La caldera auxiliar tiene un rendimiento del 96%. Se tiene que calcular lo que debe producir el motor, no la demanda. El motor debe producir más energía de la que posteriormente se aprovecha en la instalación, ya que se producen diversas pérdidas.

En primer lugar, se calcula la energía térmica que debe introducirse al frigorífico de absorción para satisfacer correctamente la demanda. Esto se calcula dividiendo la demanda por el COP.

$$\frac{\text{Demanda de frío}}{\text{COP}} = \frac{4418475 \text{ kWh}}{0.76} = 5813782 \text{ kWh}$$

A esta cantidad de energía se debe añadirle la cantidad de demanda de calor, es decir, $5813782+11180949=16994731$ kWh. Por último, se debe dividir esta cantidad por la eficiencia de la caldera de recuperación (90%), con la que se obtiene la energía térmica que debería producir el motor.

$$\text{Energía térmica a extraer por el motor} = \frac{16994731 \text{ kWh}}{0.9} = 18883034 \text{ kWh}$$

Dividiendo esta cantidad energética entre el número de horas obtendríamos la potencia térmica estimada para el motor:

$$\text{Potencia térmica estimada para el motor (kW)} = \frac{\text{Energía térmica a extraer por el motor}}{\text{Horas funcionamiento de un año}}$$

El resultado obtenido es de 2351 kW.

A continuación, se van a mostrar las tablas realizadas en el programa informático Excel en las que se realizan los cálculos básicos y más importantes del proyecto, en concreto, los cálculos eléctricos, térmicos y económicos.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total año
Electricidad requerida comprada (kWh)	1465100	1422850	1505400	1335360	1465750	1212250	1258400	1339462	1260299	1363938	1409993	1343922	16382724
Gasto electricidad requerida comprada (término fijo+variable, €)	126.136 €	122.499 €	129.606 €	114.966 €	126.192 €	104.367 €	108.340 €	115.319 €	108.504 €	117.427 €	121.392 €	115.703 €	1.446.541 €
Electricidad requerida frigorífico compresión comprada (kWh)	35633	30556	34444	48333	65556	110000	140000	150617	146744	121111	63889	35000	981883
Gasto electricidad requerida frigorífico compresión (€)	3.068 €	2.631 €	2.965 €	4.161 €	5.644 €	9.470 €	12.053 €	12.967 €	12.634 €	10.427 €	5.500 €	3.013 €	84.534 €
Energía térmica requerida (kWh)	1529948	1562500	1383101	1092959	710756	621662	571541	543440	596216	790935	1032521	1211242	11646821
Gasto energía térmica requerida (€)	52.435 €	53.551 €	47.403 €	37.459 €	24.359 €	21.306 €	19.588 €	18.625 €	20.434 €	27.107 €	35.387 €	41.512 €	399.167 €
Gasto total mes (€)	181.639 €	178.680 €	179.974 €	156.586 €	156.195 €	135.144 €	139.982 €	146.912 €	141.572 €	154.961 €	162.279 €	160.229 €	1.930.243 €

Tabla 7. Cálculos energéticos y económicos en la situación sin trigeneración

Análisis y dimensionamiento de la planta de trigeneración de un hospital

	F. compresión	F. compresión		F. compresión	F. compresión + F. absorción	F. absorción	F. absorción	F. compresión + F. absorción		F. compresión		F. compresión + F. absorción				
	Enero	Febrero		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio		Agosto		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Consumo eléctrico hospital (kWh)	1465100	1422850	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1505400	1335360	1465750	1212250	1258400	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1339462	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1260299	1363938	1409993	1343922	Consumo eléctrico hospital (kWh)
Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	1460000	1460000	1460000	Gasto eléctrico (€)	115.319 €	Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	1460000	1460000	Producto eléctrico motor (kWh)
Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €			Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €	Gasto eléctrico motor (€)
Excedente eléctrico (kWh)	-5100	37150	Excedente eléctrico (kWh)	-45400	124640	-5750	247750	201600			Excedente eléctrico (kWh)	199701	96063	50007	116078	Excedente eléctrico (kWh)
Compra de electricidad (€)	439 €	- €	Compra de electricidad (€)	3.909 €	- €	495 €	- €	- €			Compra de electricidad (€)	- €	- €	- €	- €	Compra de electricidad (€)
Consumo calor hospital (kWh)	1468750	1500000	Consumo calor hospital (kWh)	1327777	1049241	682326	596796	548680	Consumo calor hospital (kWh)	521703	Consumo calor hospital (kWh)	572367	759298	991221	1162793	Consumo calor hospital (kWh)
Consumo frío hospital (kWh)	160350	137500	Productor calor motor (kWh)	1443210	1443210	1443210	1443210	1443210	Consumo frío hospital (kWh)	677775	Productor calor motor (kWh)	1443210	1443210	1443210	1443210	Productor calor motor (kWh)
Consumo térmico hospital (kWh)	1631944	1666667	Gasto térmico motor (€)	49.463 €	49.463 €	49.463 €	49.463 €	49.463 €	Gasto calor (€)	18.625 €	Gasto térmico motor (€)	49.463 €	49.463 €	49.463 €	49.463 €	Gasto térmico motor (€)
Producto calor motor (kWh)	1443210	1443210	Excedente térmico (kWh)	-28888	249649	616564	702094	750210	Gasto frío (€)	12.967 €	Excedente térmico (kWh)	726522	539591	307669	136097	Excedente térmico (kWh)
Gasto térmico motor (€)	49.463 €	49.463 €	Consumo frío hospital (kWh)	155000	217500	295000	495000	630000			Consumo frío hospital (kWh)	660350	545000	287500	157500	Consumo frío hospital (kWh)
Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	346933	383102	Calor restante (kWh)	-28888	249649	616564	702094	750210			Calor restante (kWh)	726522	539591	307669	136097	Calor restante (kWh)
Gasto térmico caldera auxiliar (€)	11.890 €	13.130 €	Calor demandado f. absorción (kWh)	0	286184	388158	651316	828947			Calor demandado f. absorción (kWh)	868882	717105	378289	207237	Calor demandado f. absorción (kWh)
Gasto Gas Natural motor (kWh)	334096110	334096110	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	155000	27767	0	0	59841			Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	108193	134911	53672	54067	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (kWh)	437666	437666	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	34444	6170	0	0	13298			Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	24043	29980	11927	12015	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (€)	15.000 €	15.000 €	Excedente eléctrico (kWh)	-45400	124640	-5750	247750	201600			Excedente eléctrico (kWh)	199701	96063	50007	116078	Excedente eléctrico (kWh)
Electricidad demandada frigorífico compresión (kWh)	35633	30556	Gasto eléctrico f. compresión (€)	2.965 €	- €	- €	- €	- €			Gasto eléctrico f. compresión (€)	- €	- €	- €	- €	Gasto eléctrico f. compresión (€)
Electricidad generada por motor sobrante (kWh)	0	37150	Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	118470	0	247750	188302			Energía eléctrica final sobrante (kWh)	175658	66082	38080	104063	Energía eléctrica final sobrante (kWh)
Coste electricidad frigorífico (€)	3.068 €	- €	Venta eléctrica a la red (€)	- €	4.060 €	- €	8.491 €	6.454 €			Venta eléctrica a la red (€)	6.020 €	2.265 €	1.305 €	3.567 €	Venta eléctrica a la red (€)
Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	6594	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €			Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)
Venta eléctrica a la red (€)	- €	352 €	Gasto GN motor (kWh)	334096110	334096110	334096110	334096110	334096110			Gasto GN motor (kWh)	334096110	334096110	334096110	334096110	Gasto GN motor (kWh)
Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	437666	437666	437666	437666	437666	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	437666	437666	437666	437666	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)
			Gas GN de las pérdidas motor (€)	15.000 €	15.000 €	15.000 €	15.000 €	15.000 €			Gas GN de las pérdidas motor (€)	15.000 €	15.000 €	15.000 €	15.000 €	Gas GN de las pérdidas motor (€)
			Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	30092												
			Gasto térmico caldera auxiliar (€)	1.031 €												

Tabla 8. Cálculos energéticos y económicos para el caso 1

Análisis y dimensionamiento de la planta de trigeneración de un hospital

	F. compresión	F. compresión	F. compresión + F. absorción	F. compresión + F. absorción	F. absorción	F. absorción	F. compresión + F. absorción		F. compresión		F. compresión + F. absorción	F. compresión + F. absorción	F. compresión + F. absorción	F. compresión + F. absorción		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio		Agosto		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
Consumo eléctrico hospital (kWh)	1465100	1422850	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1505400	1335360	1465750	1212250	1258400	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1339462	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1260299	1363938	1409993	1343922	Consumo eléctrico hospital (kWh)
Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	1460000	1460000	1460000	Gasto eléctrico (€)	115.319 €	Producto eléctrico motor (kWh)	1460000	1460000	1460000	1460000	Producto eléctrico motor (kWh)
Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €			Gasto eléctrico motor (€)	50.038 €	50.038 €	50.038 €	50.038 €	Gasto eléctrico motor (€)
Excedente eléctrico (kWh)	-5100	37150	Excedente eléctrico (kWh)	-45400	124640	-5750	247750	201600			Excedente eléctrico (kWh)	199701	96063	50007	116078	Excedente eléctrico (kWh)
Compra de electricidad (€)	439 €	- €	Compra de electricidad (€)	3.909 €	- €	495 €	- €	- €			Compra de electricidad (€)	- €	- €	- €	- €	Compra de electricidad (€)
Consumo calor hospital (kWh)	1468750	1500000	Consumo calor hospital (kWh)	1327777	1049241	682326	596796	548680	Consumo calor hospital (kWh)	521703	Consumo calor hospital (kWh)	572367	759298	991221	1162793	Consumo calor hospital (kWh)
Consumo frío hospital (kWh)	160350	137500	Productor calor motor (kWh)	1718420	1718420	1718420	1718420	1718420	Consumo frío hospital (kWh)	677775	Productor calor motor (kWh)	1718420	1718420	1718420	1718420	Productor calor motor (kWh)
Consumo térmico hospital (kWh)	1631944	1666667	Gasto térmico motor (€)	58.895 €	58.895 €	58.895 €	58.895 €	58.895 €	Gasto calor (€)	18.625 €	Gasto térmico motor (€)	58.895 €	58.895 €	58.895 €	58.895 €	Gasto térmico motor (€)
Producto calor motor (kWh)	1718420	1718420	Excedente térmico (kWh)	218801	497338	864253	949783	997899	Gasto frío (€)	12.967 €	Excedente térmico (kWh)	974211	787280	555358	383786	Excedente térmico (kWh)
Gasto térmico motor (€)	58.895 €	58.895 €	Consumo frío hospital (kWh)	155000	217500	295000	495000	630000			Consumo frío hospital (kWh)	660350	545000	287500	157500	Consumo frío hospital (kWh)
Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	88923	125092	Calor restante (kWh)	218801	497338	864253	949783	997899			Calor restante (kWh)	974211	787280	555358	383786	Calor restante (kWh)
Gasto térmico caldera auxiliar (€)	3.048 €	4.287 €	Calor demandado f. absorción (kWh)	203947	286184	388158	651316	828947			Calor demandado f. absorción (kWh)	868882	717105	378289	207237	Calor demandado f. absorción (kWh)
Gasto Gas Natural motor (kWh)	365000000	365000000	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	0	-160477	0	0	-128403			Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	-80050	-53333	-134572	-134177	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (kWh)	474500	474500	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	0	-35661	0	0	-28534			Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	-17789	-11852	-29905	-29817	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (€)	16.262 €	16.262 €	Excedente eléctrico (kWh)	-45400	124640	-5750	247750	201600			Excedente eléctrico (kWh)	199701	96063	50007	116078	Excedente eléctrico (kWh)
Electricidad demandada frigorífico compresión (kWh)	35633	30556	Gasto eléctrico f. compresión (€)	- €	- €	- €	- €	- €			Gasto eléctrico f. compresión (€)	- €	- €	- €	- €	Gasto eléctrico f. compresión (€)
Electricidad generada por motor sobrante (kWh)	0	37150	Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	160301	0	247750	230134			Energía eléctrica final sobrante (kWh)	217490	107914	79912	145895	Energía eléctrica final sobrante (kWh)
Coste electricidad frigorífico (€)	3.068 €	- €	Venta eléctrica a la red (€)	- €	5.494 €	- €	8.491 €	7.887 €			Venta eléctrica a la red (€)	7.454 €	3.699 €	2.739 €	5.000 €	Venta eléctrica a la red (€)
Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	6594	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €			Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	3.007 €	3.007 €	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)
Venta eléctrica a la red (€)	- €	352 €	Gasto GN motor (kWh)	365000000	365000000	365000000	365000000	365000000			Gasto GN motor (kWh)	365000000	365000000	365000000	365000000	Gasto GN motor (kWh)
Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	3.007 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	474500	474500	474500	474500	474500	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.007 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	474500	474500	474500	474500	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)
			Gas GN de las pérdidas motor (€)	16.262 €	16.262 €	16.262 €	16.262 €	16.262 €			Gas GN de las pérdidas motor (€)	16.262 €	16.262 €	16.262 €	16.262 €	Gas GN de las pérdidas motor (€)
			Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	0							Caldera auxiliar, en su caso (kWh)					Caldera auxiliar, en su caso (kWh)
			Gasto térmico caldera auxiliar (€)	- €							Gasto térmico caldera auxiliar (€)					Gasto térmico caldera auxiliar (€)

Tabla 9. Cálculos energéticos y económicos para el caso 2

Análisis y dimensionamiento de la planta de trigeneración de un hospital

	F. compresión	F. compresión		F. compresión + F. absorción	F. compresión + F. absorción	F. absorción	F. absorción	F. compresión + F. absorción		F. compresión		F. compresión + F. absorción				
	Enero	Febrero		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio		Agosto		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Consumo eléctrico hospital (kWh)	1465100	1422850	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1505400	1335360	1465750	1212250	1258400	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1339462	Consumo eléctrico hospital (kWh)	1260299	1363938	1409993	1343922	Consumo eléctrico hospital (kWh)
Producto eléctrico motor (kWh)	1458540	1458540	Producto eléctrico motor (kWh)	1458540	1458540	1458540	1458540	1458540	Gasto eléctrico (€)	115.319 €	Producto eléctrico motor (kWh)	1458540	1458540	1458540	1458540	Producto eléctrico motor (kWh)
Gasto eléctrico motor (€)	49.988 €	49.988 €	Gasto eléctrico motor (€)	49.988 €	49.988 €	49.988 €	49.988 €	49.988 €			Gasto eléctrico motor (€)	49.988 €	49.988 €	49.988 €	49.988 €	Gasto eléctrico motor (€)
Excedente eléctrico (kWh)	-6560	35690	Excedente eléctrico (kWh)	-46860	123180	-7210	246290	200140			Excedente eléctrico (kWh)	198241	94603	48547	114618	Excedente eléctrico (kWh)
Compra de electricidad (€)	565 €	- €	Compra de electricidad (€)	4.034 €	- €	621 €	- €	- €			Compra de electricidad (€)	- €	- €	- €	- €	Compra de electricidad (€)
Consumo calor hospital (kWh)	1468750	1500000	Consumo calor hospital (kWh)	1327777	1049241	682326	596796	548680	Consumo calor hospital (kWh)	521703	Consumo calor hospital (kWh)	572367	759298	991221	1162793	Consumo calor hospital (kWh)
Consumo frío hospital (kWh)	160350	137500	Productor calor motor (kWh)	1493580	1493580	1493580	1493580	1493580	Consumo frío hospital (kWh)	677775	Productor calor motor (kWh)	1493580	1493580	1493580	1493580	Productor calor motor (kWh)
Consumo térmico hospital (kWh)	1631944	1666667	Gasto térmico motor (€)	51.189 €	51.189 €	51.189 €	51.189 €	51.189 €	Gasto calor (€)	18.625 €	Gasto térmico motor (€)	51.189 €	51.189 €	51.189 €	51.189 €	Gasto térmico motor (€)
Producto calor motor (kWh)	1493580	1493580	Excedente térmico (kWh)	16445	294982	661897	747427	795543	Gasto frío (€)	12.967 €	Excedente térmico (kWh)	771855	584924	353002	181430	Excedente térmico (kWh)
Gasto térmico motor (€)	51.189 €	51.189 €	Consumo frío hospital (kWh)	155000	217500	295000	495000	630000			Consumo frío hospital (kWh)	660350	545000	287500	157500	Consumo frío hospital (kWh)
Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	129717	162269	Calor restante (kWh)	16445	294982	661897	747427	795543			Calor restante (kWh)	771855	584924	353002	181430	Calor restante (kWh)
Gasto térmico caldera auxiliar (€)	4.446 €	5.561 €	Calor demandado f. absorción (kWh)	203947	286184	388158	651316	828947			Calor demandado f. absorción (kWh)	868882	717105	378289	207237	Calor demandado f. absorción (kWh)
Gasto Gas Natural motor (kWh)	344808511	344808511	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	142502	-6686	0	0	25388			Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)	73740	100458	19219	19614	Consumo frío restante por suministrar por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (kWh)	496524	496524	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	31667	-1486	0	0	5642			Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)	16387	22324	4271	4359	Energía eléctrica demandada por f. compresión (kWh)
Gasto Gas Natural de las pérdidas motor (€)	17.017 €	17.017 €	Excedente eléctrico (kWh)	-46860	123180	-7210	246290	200140			Excedente eléctrico (kWh)	198241	94603	48547	114618	Excedente eléctrico (kWh)
Electricidad demandada frigorífico compresión (kWh)	35633	30556	Gasto eléctrico f. compresión (€)	2.726 €	- €	- €	- €	- €			Gasto eléctrico f. compresión (€)	- €	- €	- €	- €	Gasto eléctrico f. compresión (€)
Electricidad generada por motor sobrante (kWh)	0	35690	Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	124666	0	246290	194498			Energía eléctrica final sobrante (kWh)	181854	72279	44276	110259	Energía eléctrica final sobrante (kWh)
Coste electricidad frigorífico (€)	3.068 €	- €	Venta eléctrica a la red (€)	- €	4.273 €	- €	8.441 €	6.666 €			Venta eléctrica a la red (€)	6.233 €	2.477 €	1.517 €	3.779 €	Venta eléctrica a la red (€)
Energía eléctrica final sobrante (kWh)	0	5134	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.004 €	3.004 €	3.004 €	3.004 €	3.004 €			Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.004 €	3.004 €	3.004 €	3.004 €	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)
Venta eléctrica a la red (€)	- €	274 €	Gasto GN motor (kWh)	344808511	344808511	344808511	344808511	344808511			Gasto GN motor (kWh)	344808511	344808511	344808511	344808511	Gasto GN motor (kWh)
Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.004 €	3.004 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	496524	496524	496524	496524	496524	Término fijo de potencia eléctrica (€/mes)	3.004 €	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)	496524	496524	496524	496524	Gasto GN de las pérdidas motor (kWh)
			Gas GN de las pérdidas motor (€)	17.017 €	17.017 €	17.017 €	17.017 €	17.017 €			Gas GN de las pérdidas motor (€)	17.017 €	17.017 €	17.017 €	17.017 €	Gas GN de las pérdidas motor (€)
			Caldera auxiliar, en su caso (kWh)	0							Caldera auxiliar, en su caso (kWh)					Caldera auxiliar, en su caso (kWh)
			Gasto térmico caldera auxiliar (€)	- €							Gasto térmico caldera auxiliar (€)					Gasto térmico caldera auxiliar (€)

Tabla 10. Cálculos energéticos y económicos para el caso 3

La primera tabla de todas las que se muestran, hace referencia a la situación del hospital antes de instalar cualquier tipo de planta de trigeneración. Para satisfacer la demanda eléctrica y la demanda de frío se compra a la red eléctrica, ya que en esta situación, el frío se genera con los frigoríficos de compresión de los que se dispone en el hospital. La demanda térmica se satisfará gracias a una caldera que funciona gracias al gas natural comprado.

Teniendo en cuenta todo lo comentado en el último párrafo, se realizan los cálculos correspondientes.

A continuación, se muestran las tres tablas correspondientes, cada una de ellas, a cada una de las tres alternativas de motores expuestas en apartados anteriores. Las celdas en color azul son los datos de las demandas del hotel de los que disponemos para dimensionar la planta.

Como se puede comprobar, hay varios tipos de meses en cuanto a que elementos de la instalación hace falta. Habrá meses en los que se utilice un tipo de frigorífico y habrá otros en los que se utilicen ambos. Esto se produce porque no hay suficiente energía térmica para satisfacer la demanda de frío con el frigorífico de absorción y se necesita utilizar el de compresión para satisfacer la demanda restante.

El proceso para realizar todos estos cálculos es bastante variable, depende cada mes y de cada tipo de motor:

Lo primero que se debe realizar es comprobar que la energía eléctrica producida por el motor es mayor que la demandada, en el caso que sea más pequeña, se deberá comprar la restante a la red eléctrica. En el caso contrario de que sobre, se podrá guardar para utilizarse en el caso que se necesite para el frigorífico de absorción. Si tampoco se necesita para esto, o se necesita pero hay un sobrante, este se vende a la red eléctrica recibiendo una aportación económica.

El siguiente paso es calcular la demanda eléctrica. Se vuelve a comprobar que el motor es capaz de producir toda esta energía. Si no es así, se produciría energía en la caldera auxiliar. Si hay un excedente térmico, se podrá utilizar en el frigorífico de absorción, en el caso que se necesite generar frío. Si tampoco es este caso, este calor se expulsaría a la atmósfera mediante torres de refrigeración.

Para la demanda de frío, se utiliza como primera opción el calor en exceso producido por el motor. Esta sería la mejor opción ya que este calor se puede aprovechar de manera "gratuita", es decir, si no se aprovechara, se vertería a la atmósfera, y se tendría que comprar electricidad para alimentar el frigorífico de compresión para generar el frío demandado. En el caso que no haya calor en exceso, o si lo hay, no es suficiente para satisfacer toda la demanda, se utilizará el frigorífico de compresión, el cual utilizará la electricidad restante que se ha generado en el motor, y en el caso que no haya excedente, se comprará a la red. Si después de esto queda un excedente final de energía eléctrica, esta se venderá a la red eléctrica.

Después de realizar los cálculos, se puede concluir, que a medida que un mes es más caluroso (demanda más frío y menos calor) más se utiliza el frigorífico de absorción, y en el caso de un mes frío, lo contrario. Esto se debe a que en los meses calurosos, el calor generado no se aprovecha tanto pues no está tan demandado, y por eso se utiliza para generar frío en los frigoríficos de absorción. Lo contrario ocurre en los meses frío, en los que se demanda mucho calor, por lo que no hay un excedente de este tipo de energía, y se tiene que recurrir al frigorífico de compresión que utiliza electricidad para alimentarse.

Por último, el cálculo para calcular la potencia de los frigoríficos es el siguiente:

Se divide la energía demandada entre el número de horas del mes:

$$\begin{aligned} \text{Potencia frigorífica (kW)} &= \frac{\text{Energía térmica de frío demandada ese mes}}{\text{Nº de horas del mes}} \\ &= \frac{660350 \text{ kWh}}{730 \text{ h}} = 905 \text{ kW} \end{aligned}$$

Como son dos el número de frigoríficos a instalar, cada uno tendrá 453 kW aproximadamente.

12. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

12.1. Presupuesto ejecutado

El presupuesto de este proyecto se divide en cuatro apartados principales: las horas internas, los gastos, las amortizaciones y las subcontrataciones. Después de haber explicado cada una de las partes, finalmente se presentará el presupuesto total para la realización del proyecto, que contendrá los cuatro apartados explicados anteriormente, y añadiéndole unos costes indirectos y unos costes directos.

Horas internas

Es el tiempo dedicado por cada uno de los participantes en el proyecto. Este proyecto ha estado formado por el estudiante, el cual tiene un coste horario de 25 €, y la colaboración del director del proyecto, cuyo coste asciende a 50 €.

Concepto	Unidades	Nº unidades	Coste unitario	Coste total
HORAS INTERNAS				
Director del proyecto	h	30	50 €	1.500 €
Estudiante	h	200	25 €	5.000 €
				6.500 €

Tabla 11. Desglose de las Horas Internas

Gastos

Se refiere a lo utilizado durante la realización del proyecto y que no se va a poder utilizar en el futuro, en otros proyectos. En este proyecto en concreto será el material de oficina utilizado. Para finalizar, también se incluye el coste que ha supuesto el transporte para las reuniones entre estudiante y director de TFG.

Concepto	Coste
GASTOS	
Material de oficina	100 €
Transporte	10 €
	110 €

Tabla 12. Desglose de los Gastos

Amortizaciones

Corresponden a los activos que se han adquirido para la realización de tanto este proyecto, como de otros. Su cálculo se realiza con esta expresión:

$$Amortización = \frac{Precio\ adquisición}{Vida\ útil} \times Tiempo\ de\ utilización$$

Concepto	Coste adquisición	Vida útil (h)	Tiempo de uso (h)	Amortización
AMORTIZACIONES				
Ordenador	750 €	10000	180	13,50 €
Licencia MS Project 2016	400 €	10000	10	0,40 €
Licencia Office 2016	100 €	5000	125	2,50 €
				16,40 €

Tabla 13. Desglose de las Amortizaciones

Subcontrataciones

Durante el proyecto, se ha necesitado realizar fotocopias e imprimir documentación en Publicaciones de la ETSIB para realizar el trabajo.

Concepto	Coste
SUBCONTRATACIONES	
Fotocopias de documentación	5,00 €
	5,00 €

Tabla 14. Desglose de las Subcontrataciones

Una vez que ya se ha presentado cada apartado del presupuesto, exponemos el presupuesto total del proyecto, y se añade tanto unos costes indirectos, los cuales son un 5% del total de los 4 apartados presentados, y unos costes directos que suponen un 10% de todo lo anterior.

El presupuesto total del proyecto será:

Concepto	Coste
HORAS INTERNAS	6.500,00 €
GASTOS	110,00 €
AMORTIZACIONES	16,40 €
SUBCONTRATACIONES	5,00 €
SUBTOTAL 1	6.631,40 €
COSTES INDIRECTOS (5%)	331,57 €
SUBTOTAL 2	6.962,97 €
IMPREVISTOS (10%)	696,30 €
TOTAL	7.659,27 €

Tabla 15. Presupuesto total del Proyecto

12.2. Presupuesto

Este presupuesto se refiere al coste de la instalación de la planta de trigeneración junto con el coste de los diferentes elementos que componen la planta. A todo lo anterior ha de sumarle cada año el coste del mantenimiento, puesto que es un coste anual.

El coste de los motores es de aproximadamente un millón de € por cada MWe. Los costes de mantenimiento se han supuesto constantes a lo largo de los años y se consideran que son un 5% del coste total del valor de la planta.

Concepto	Coste
Motores	2.000.000 €
Calderas de recuperación	100.000 €
Aerorefrigerador de agua de alta temperatura	10.000 €
Torre de refrigeración de agua	10.000 €
Frigoríficos de absorción	200.000 €
Intercambiadores de calor	50.000 €
Instalación de la planta	300.000 €
Mantenimiento de la planta (€/año)	118.500 €
COSTE TOTAL	2.788.500 €

Ilustración 14. Desglose del presupuesto ejecutado del proyecto

13. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Se llevará a cabo un estudio en torno a la rentabilidad económica del proyecto, ya que la finalidad de la planta de trigeneración, aparte de reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera y aprovechar de manera más eficiente los combustibles fósiles, es la de obtener un beneficio económico o ahorro a partir de la misma.

Para la realización del estudio se calcula la Tasa Interna de Retorno o TIR, valor que sirve para expresar la rentabilidad del proyecto en caso de que se hiciera con fondos propios. El proyecto es económicamente rentable en el caso en el que el TIR sea mayor que el coste de capital empleado en el proyecto, es decir, la tasa de descuento que el banco impone a la hora de hacer el préstamo. Para la obtención de este valor es necesario realizar un análisis sobre el flujo de caja que habrá en la planta a lo largo de su vida. Se estima la vida útil de la planta en 25 años para la realización del estudio, aunque podría ser mayor.

La inversión necesaria para la realización del proyecto es la especificada en el anterior apartado, es decir, 2.670.000 €. Las salidas de caja incluyen únicamente los costes de mantenimiento anuales de la planta. Los costes de operación y mantenimiento anuales se estiman en 118.500 €.

Los ingresos en este proyecto se consideran como los ahorros que supone operar con la planta de trigeneración respecto a la situación de funcionamiento con el sistema convencional. Una vez realizados los cálculos correspondientes, se obtiene que el ahorro anual para la alternativa seleccionada respecto a la situación anterior es de 476.798 €, y el payback de la inversión que se obtiene es de 7 años y 9 meses.

Por último, se debe aclarar que a esta planta le correspondería recibir una retribución por parte del estado, definida en el Real Decreto 413/2014 del 6 de junio, por ser una instalación de cogeneración. Sin embargo, para este proyecto se ha decidido no tener en cuenta estas ayudas por dos razones principales:

- Por no disponer de ciertos datos necesarios para calcular estas retribuciones
- La planta es suficientemente rentable sin tener en cuenta estas ayudas

Por lo tanto, este hecho hace que los únicos ingresos que se generen en la planta sean el ahorro por utilizar la planta de trigeneración respecto a la situación sin esta planta. Las posibles ayudas de las que se deberían disponer, no harían más que aumentar los beneficios y aumentar la viabilidad del proyecto. Al no tener en cuenta estas ayudas económicas, se está suponiendo una situación desfavorable de la planta, lo que provoca que se convierta en un factor de seguridad para la viabilidad económica.

Año	Ingresos	Gastos	Flujo de caja
0	- €	2.670.000 €	-2.670.000 €
1	476.798 €	118.500 €	358.298 €
2	476.798 €	118.500 €	358.298 €
3	476.798 €	118.500 €	358.298 €
4	476.798 €	118.500 €	358.298 €
5	476.798 €	118.500 €	358.298 €
6	476.798 €	118.500 €	358.298 €
7	476.798 €	118.500 €	358.298 €
8	476.798 €	118.500 €	358.298 €
9	476.798 €	118.500 €	358.298 €
10	476.798 €	118.500 €	358.298 €
11	476.798 €	118.500 €	358.298 €
12	476.798 €	118.500 €	358.298 €
13	476.798 €	118.500 €	358.298 €
14	476.798 €	118.500 €	358.298 €
15	476.798 €	118.500 €	358.298 €
16	476.798 €	118.500 €	358.298 €
17	476.798 €	118.500 €	358.298 €
18	476.798 €	118.500 €	358.298 €
19	476.798 €	118.500 €	358.298 €
20	476.798 €	118.500 €	358.298 €
21	476.798 €	118.500 €	358.298 €
22	476.798 €	118.500 €	358.298 €
23	476.798 €	118.500 €	358.298 €
24	476.798 €	118.500 €	358.298 €
25	476.798 €	118.500 €	358.298 €
Coste de capital (k)		7,0%	
VAN		1.505.450 €	
TIR		12,8%	

Tabla 16. Flujos de caja del proyecto a lo largo de su vida útil

Como se ve en la tabla anterior, el TIR (Tasa Interna de Retorno) es de 12,8 % y el VAN (Valor Actual Neto) de 1.505.450 €. El TIR representa la rentabilidad del proyecto en caso de que se hiciera con fondos propios. Al ser este valor mayor que el coste capital, el proyecto será rentable.

Además, el VAN expresa el dinero de más que se gana en el proyecto en comparación a si se invirtiera el capital en inversiones financieras corrientes. Al ser este valor positivo en este proyecto, el proyecto será realizable.

CONCLUSIONES

Tras la realización de este proyecto, se recogen una serie de conclusiones que se han ido obteniendo a lo largo de su realización.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la trigeneración es una tecnología cuyos objetivos principales son el de emitir a la atmósfera una menor cantidad de contaminantes. Pese a que este tipo de tecnología utiliza combustibles fósiles, supone beneficios medioambientales, contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y aumenta la sostenibilidad, ya que tienen una eficiencia muy alta (alrededor del 87%) y, por lo tanto, necesitan menos fuente de energía primaria, por lo que aprovecha de una manera más eficiente el combustible, generando a su vez un ahorro económico importante.

Respecto a las opciones escogidas en las alternativas estudiadas, el motor alternativo en una trigeneración es la mejor opción, entre otras cosas por el gran aprovechamiento eléctrico que es capaz de generar, aparte de que funciona bien para las potencias instaladas en el hospital, al contrario que una turbina de gas, las cuales se utilizan más en industrias más grandes que requieren una potencia mucho mayor. A continuación, se ha estudiado los dos tipos de frigoríficos disponibles. El seleccionado ha sido el de tipo LiBr-Agua, ya que el de NH₃-Agua se utiliza para enfriar líquidos a menor temperatura y tiene un COP menor. En el hospital estudiado no se quiere enfriar el agua a una temperatura muy baja. Por último, se analiza el número de motores a instalar, decidiéndose finalmente por dos motores, por su mejor adaptabilidad al cambio de demanda y por tener una mayor disponibilidad, a pesar de que el ahorro disminuya respecto a la situación de un motor.

En cuanto a los resultados, la planta de trigeneración diseñada genera un ahorro neto anual de 307.498 €, que nos hará obtener beneficios a partir de los 9 años y un mes.

En conclusión, el proyecto es totalmente viable y conlleva una gran cantidad de beneficios para la obtención de un futuro más sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] José María Sala Lizarraga, “Cogeneración. Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos”, Servicio Editorial de la UPV Bilbao, 1994.

- [2] “Guía de la cogeneración”, Fenercom.

- [3] MWM GmbH, Gas Engines.

- [4] Rolls Royce, Gas Engines.

- [5] Gobierno de España, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

- [6] ACOGEN (Asociación Española de Cogeneración).

ANEXO I:

Normativa aplicable

La legislación en torno a las condiciones de generación además de las retribuciones para el régimen especial al que este tipo de energía pertenece es la siguiente:

- [1] Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. En 2012 fue abolido.

- [2] Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

- [3] Ley 24/2013, de 26 de diciembre.

- [4] Resolución de 29 de diciembre de 2016, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural.

