

Trigeneración. Optimización y Eficiencia Energética

| |
|--------------|
| Optimización |
|--------------|

| |
|-----------------------|
| Eficiencia Energética |
|-----------------------|

JUAN CARLOS LOZANO MEDINA

INGENIERO INDUSTRIAL

PROFESOR ASOCIADO ULPGC

ISBN 978-84-16989-19-5

1 DE ABRIL DE 2014

Índice

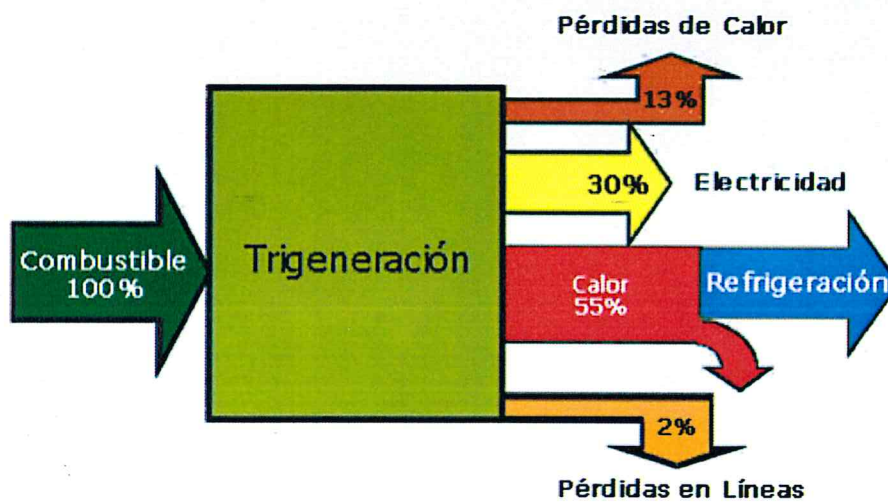
| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| COGENERACIÓN | 2 |
| TIPOS DE PROCESO SEGÚN LA FUENTE DE ENERGÍA | 3 |
| COMPARACIÓN ENTRE LOS PROCESOS CONVENCIONALES Y EL PROCESO TRIGENERACIÓN. | 4 |
| APLICACIÓN PARA LOS TIPOS DE PROCESOS | 4 |
| TECNOLOGÍA APLICABLE. | 5 |
| TECNOLOGÍA NECESARIA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD | 6 |
| SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ELECTRICIDAD | 12 |
| TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE FRÍO..... | 12 |
| TIPOS DE MÁQUINAS | 13 |
| CRITERIOS DE DISEÑO | 14 |
| RENTABILIDAD DE LAS INSTALACIONES | 14 |
| NORMATIVA | 15 |
| DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN..... | 17 |
| CASO PRÁCTICO..... | 22 |
| CONCLUSIONES | 25 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 26 |

INTRODUCCIÓN

La Trigeneración es un procedimiento similar a la cogeneración. Se define trigeneración como la generación conjunta de energía eléctrica, energía térmica en forma de calor y energía térmica en forma de frío.

Se trata del aprovechamiento del calor residual de la generación eléctrica para producir calor, frío y electricidad mediante un sencillo sistema integrado a partir de un mismo combustible.

Un sistema de trigeneración se consigue al acoplar un sistema de cogeneración por motor térmico o por turbina, junto con una máquina de absorción destinada a refrigerar agua utilizando la energía térmica contenida en el agua de enfriamiento y/o los gases de escape del elemento motriz del alternador eléctrico.



Para poder explicar de una forma más detallada en qué consiste la trigeneración es necesario conocer en qué consiste la cogeneración.

COGENERACIÓN

Definición de cogeneración.

Se define como la producción conjunta, de energía eléctrica o mecánica (un equipo produce energía mecánica para aplicarla a un alternador y que éste genere energía eléctrica) y energía térmica (calor) a través de una única fuente de energía primaria.

La energía térmica se suele producir aprovechando el calor residual originado en los equipos de producción de energía mecánica. Por este motivo la cogeneración se presenta como una opción rentable.

TIPOS DE PROCESO SEGÚN LA FUENTE DE ENERGÍA

Existen diferentes tipos de procesos de producción dependiendo del número de energías diferentes que sea capaz de proporcionar a partir de una misma fuente de energía.

- Autogeneración: El sistema sólo produce energía eléctrica. Toda la energía térmica que se produce es enviada al ambiente.
- Cogeneración o planta de cogeneración, es la instalación que aparte de la producción de energía eléctrica, aprovecha los gases de escape para producir calor.
- Trigeneración: se consigue si del mismo calor de los gases de escape utilizados en la cogeneración se utilizan, mediante una máquina de absorción, para producir energía frigorífica.

En los últimos años se ha estado investigando para seguir aprovechando esa energía residual. Ese estudio consiste en capturar las moléculas de dióxido de carbono para depositarlas en bolsas y enterrarlas bajo tierra o en el fondo del mar o en pozos de petróleo para que aumente la presión en el mismo y facilite la extracción de crudo. Actualmente esta tecnología se está desarrollando.

Ventajas de la cogeneración:

- Ahorro energético a nivel global. Se reducirá el consumo debido al uso de solamente una fuente de energía primaria. El ahorro energético también se producirá debido a un aumento del rendimiento de la instalación, así como en el ahorro de la factura energética.
- Incremento de la competitividad: Al lograr el ahorro energético, se aumenta la eficiencia de la instalación y por consiguiente, se reduce los costes de producción.
- Seguridad, independencia y fiabilidad en el suministro eléctrico. Al ser una instalación que produce su propia energía no depende de ninguna empresa suministradora.
- Mejora el medio ambiente. Por un lado debido al ahorro de consumo de energías primarias y por la reducción de la contaminación térmica de embalses, ríos, etc, ya que se utiliza el calor residual no se emite a la atmosfera sino que se utiliza.
- Venta de energía sobrante. Al tratarse de un sistema de generación de electricidad, permite el negocio con las empresas suministradoras acordando la compra de electricidad e caso de ser necesario y la venta de la misma en caso de que exceda la producción.
- Reducción de pérdidas en el transporte de electricidad. Las pérdidas serán mínimas debido a que la generación y el consumo se produce en el mismo lugar.

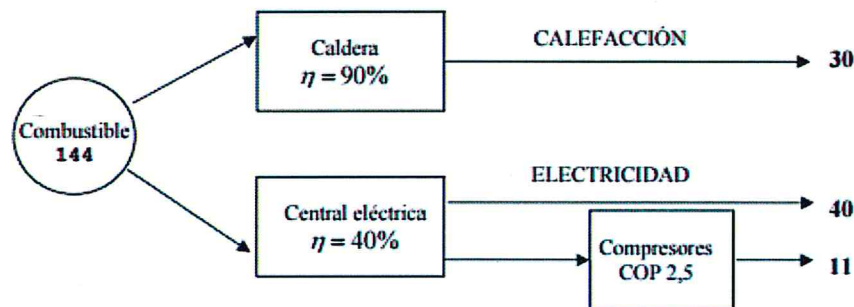
Desventajas:

- La producción de electricidad es más compleja que en los métodos tradicionales.
- Puede suceder que haya cambios en la normativa o en los precios de las materias primas.
- Inversión inicial alta por lo que se acepta cierto riesgo económico al darse la posibilidad de no recuperar la inversión.

- El personal de mantenimiento debe estar convenientemente formado.

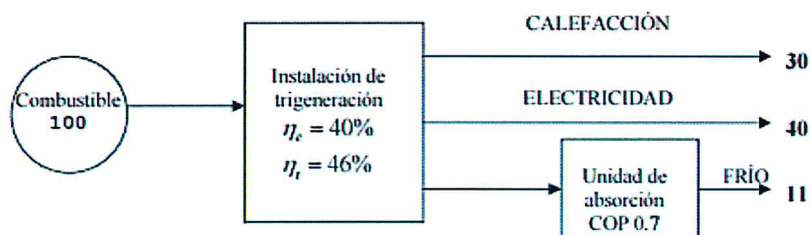
COMPARACIÓN ENTRE LOS PROCESOS CONVENCIONALES Y EL PROCESO TRIGENERACIÓN.

El proceso convencional produce energía eléctrica mediante un generador eléctrico con alternador y produce calor mediante una caldera.



Quiere decir que, en un sistema convencional, para obtener 30 kWh de calefacción, 40 kWh de electricidad y 11 kWh de energía frigorífica (utilizando 4,4 kWh para los compresores) son necesarios 144 kWh de combustible. (El 48,33% de la energía primaria es residual).

Sin embargo, en una instalación de trigeneración, para obtener los mismos parámetros se necesita 100 kWh de combustible, es decir un 30,55 % menos de energía primaria. Esto es debido a que la energía residual es un 14,28% de la consumida.

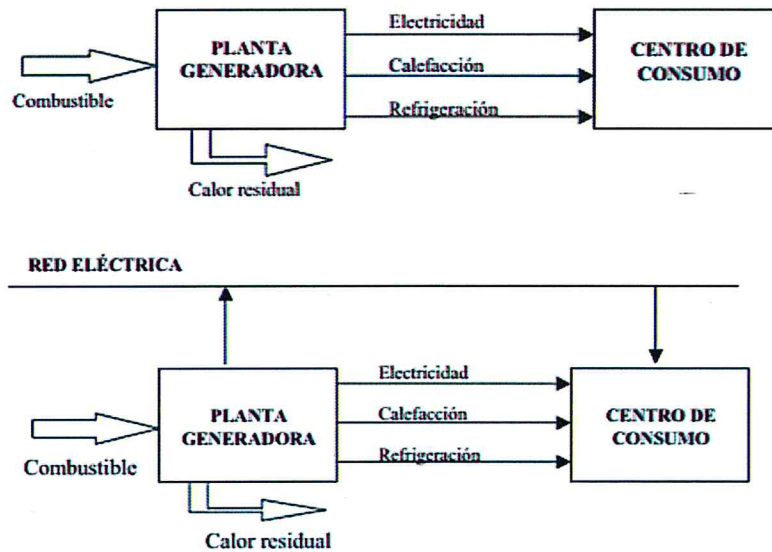


APLICACIÓN PARA LOS TIPOS DE PROCESOS

Hay tres tipos:

- Cogeneración industrial: destinado a cubrir la demanda eléctrica y térmica de un proceso productivo. Autogeneración.
- Sistemas de calefacción de distrito: una planta generadora de electricidad utiliza su calor residual para proporcionar calefacción a una zona. Cogeneración.

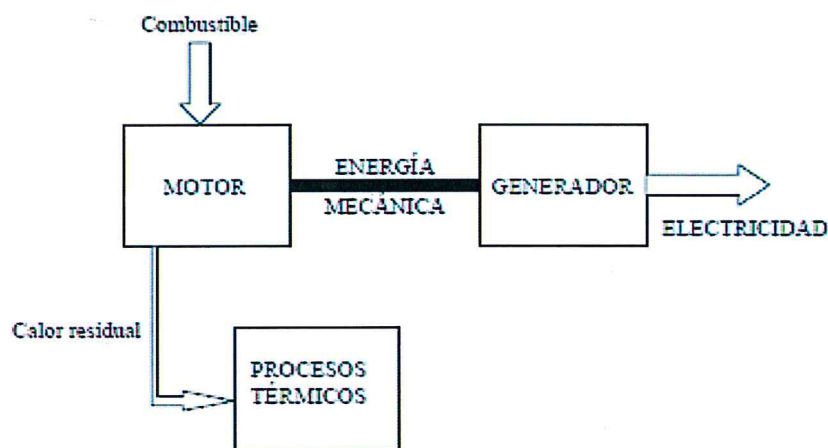
- Sistema de energía total: están orientadas al sector servicio, donde el consumo de energía está muy relacionado con la climatología y los hábitos de consumo de una población. Este es el caso de la trigeneración. Hay dos tipos: el consumo de energía total y los sistemas de energía total integrados.



El primer esquema hace referencia a un sistema de energía total y el segundo a un sistema de energía total integrado. Como puede observarse, las diferencias no son muy significativas.

TECNOLOGÍA APLICABLE.

A continuación se expone un esquema donde se refleja el proceso típico de cogeneración. Se denomina ciclo de cabecera.

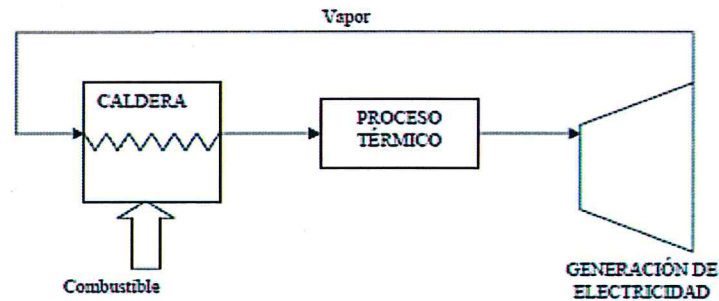


Ciclo de cabecera

Este ciclo dispone en primer lugar de un grupo electrógeno destinado a producir electricidad a partir de un combustible. En segundo lugar, existe un segundo bloque donde se encuentra los calores residuales y a partir de los cuales se produce la energía térmica.

Este ciclo suele utilizarse cuando las temperaturas finales son medias o bajas por lo que su campo de aplicación es bastante amplio y la versatilidad en la selección del equipo es amplia.

Existe otro tipo de ciclo para obtener energía eléctrica y térmica. El ciclo de cola. Este contiene un sistema primario (térmico) que permite extraer o recuperar calor del proceso industrial para producir electricidad. Este ciclo es utilizado para obtener procesos de temperaturas altas o medias.

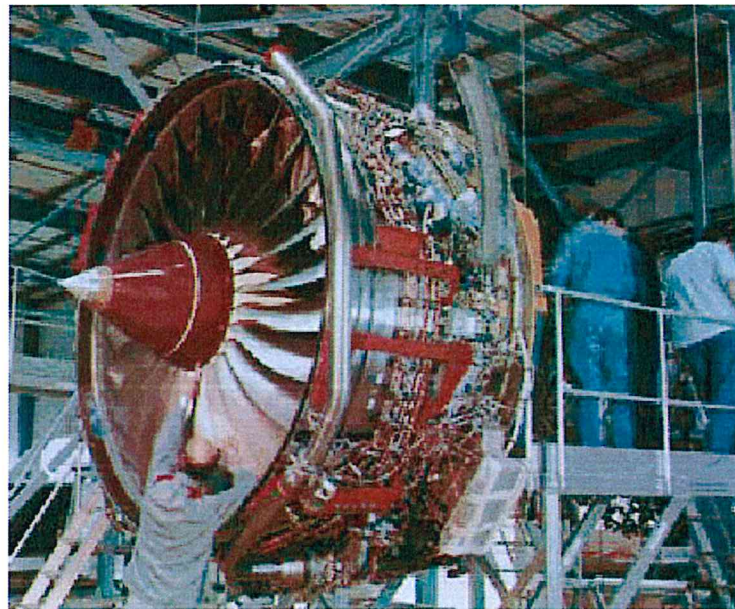
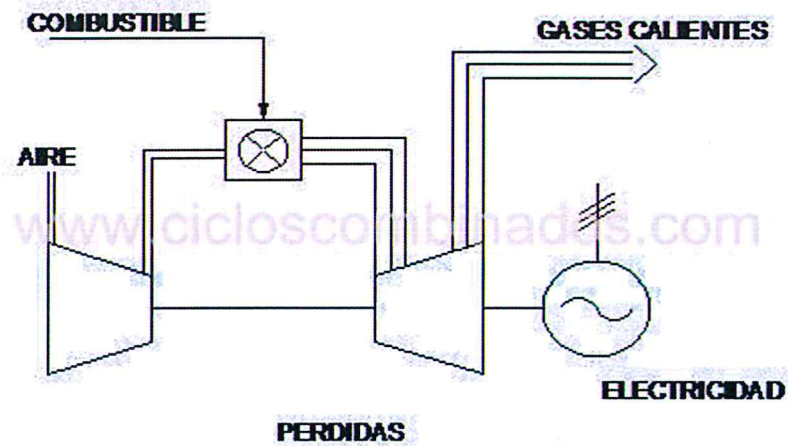


TECNOLOGÍA NECESARIA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

Existe una amplia variedad de tecnologías para la producción de energía eléctrica. En este trabajo se destacará y de desarrollará, de forma genérica, las tres tecnologías más comunes.

1. Turbina de gas. es una turbomáquina motora, cuyo fluido de trabajo es un gas. Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas de gas son turbomáquinas térmicas. Las turbinas de gas son usadas en los ciclos de potencia como el ciclo Brayton y en algunos ciclos de refrigeración.

El funcionamiento de una turbina de gas se puede resumir en lo siguiente: El aire fresco de la atmósfera fluye a través de un compresor que eleva su presión. Acto seguido se le añade energía dispensando combustible en el mismo y quemándolo de modo que la combustión genere un fluido a alta temperatura. Este fluido entra en la turbina donde se expande disminuyendo la presión de salida, produciendo el movimiento del eje durante el proceso. Dicho eje mueve el compresor y otros dispositivos de generación eléctrica produciendo electricidad. La energía no utilizada sale en forma de gas a altas velocidades y temperaturas.



Las turbinas de gas tienen diversas aplicaciones entre las que se destaca:

- Generación eléctrica.
 - Equipo de generación principal
 - Equipo de generación de emergencia.
- Cogeneración en ciclos combinados
- Trigeneración en ciclos combinados
- Compresión de gas
- Bombeo de sustancias como el petróleo

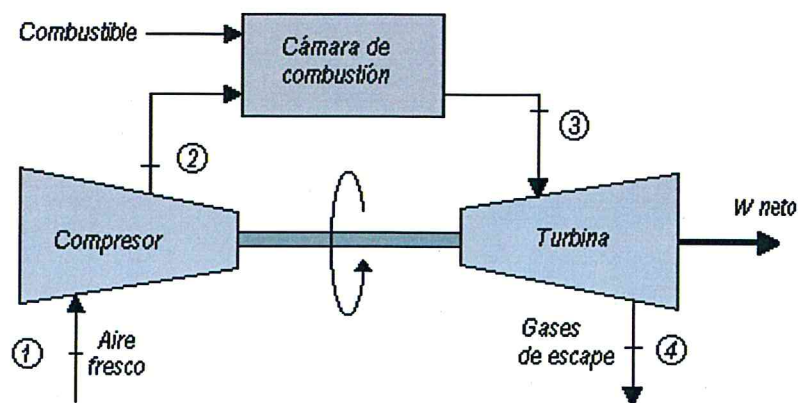
La potencia que, usualmente, puede generar una turbina de vapor se encuentra comprendida entre el rango de los 200 kW y los 100 MW. Este es el motivo por el cual estas turbinas son instaladas tanto en plantas de gran potencia como las centrales eléctricas como en pequeñas industrias.

Generalmente suele tener una relación electricidad-calor entre unos valores de 0,5 y 0,8. Al tener estos valores relativamente bajos hace que se adapten bien a

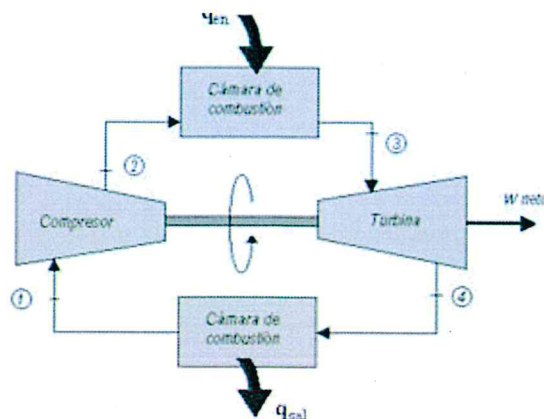
instalaciones cuya demanda es muy elevada, como por ejemplo en trigeneración o cogeneración, ya que se utiliza la energía térmica de vapo excedente del proceso.

Existen dos tipos de turbina.

Por un lado las turbinas de ciclo abierto que se caracteriza porque el ciclo comienza con la compresión del aire que se introduce en la cámara de combustión. Una vez el aire queda comprimido se cierra la válvula que le da paso y se introduce el combustible en la cámara. A continuación, se prende la chips que provoca la explosión y eleva la presión. En ese momento los gases pasan por la turbina cediendo gran parte de la energía que llevan.



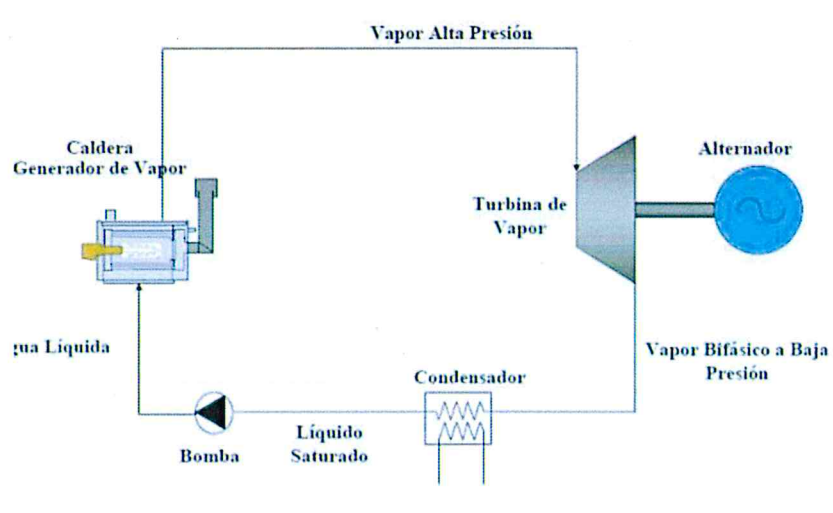
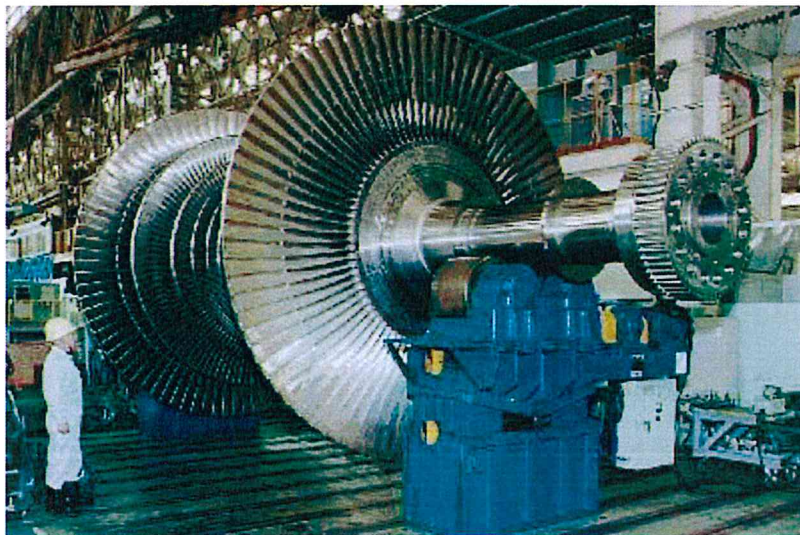
Por otro lado existen turbinas de ciclo cerrado. En ella los gases de la combustión no pasan a través de la turbina sino que cede su calor a los gases que sí la atraviesan. Los gases circulan a través de un circuito cerrado, por lo que, se comprimen, calientan, expansionan y enfrían para poder realizar el ciclo. Estas turbinas permiten quemar cualquier tipo e combustible, ya que la turbina no se va a dañar debido a que los gases no entraran en ella. Sin embargo, es necesario la instalación de in intercambiador de calor donde los gases que sí atraviesan la turbina reciban la energía de combustión.



Este tipo de sistema no sería posible la cogeneración ni la trigeneración, pues sin ellos, la energía térmica de los gases de escape seguiría siendo energía residual que acabaría

en el ambiente. Para evitar ese hecho, se puede recuperar la energía utilizando directamente los gases residuales como consumo térmico o utilizando calderas para la recuperación de calor.

2. Turbinas de vapor: son turbomáquinas que transforman la energía de un flujo de vapor a altas presiones y temperatura en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido y la turbina. El vapor se genera en una caldera. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica y esta energía, normalmente, se transmite al generador que produce electricidad. Las turbinas de vapor se utiliza en varios ciclos, entre los que destaca el Ciclo Rankine.



Las turbinas de gas tienen diversas aplicaciones entre las que cabe destacar:

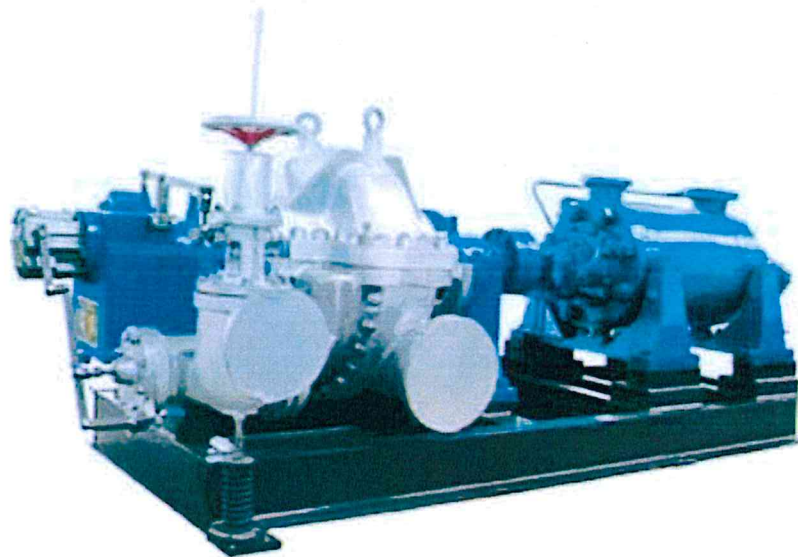
- Cogeneración industrial
- Trigeneración industrial
- Producción de energía eléctrica

Este tipo de turbina suele trabajar en un rango de potencia entre 500 kW y 100 MW, pudiendo lograr potencias superiores incluso.

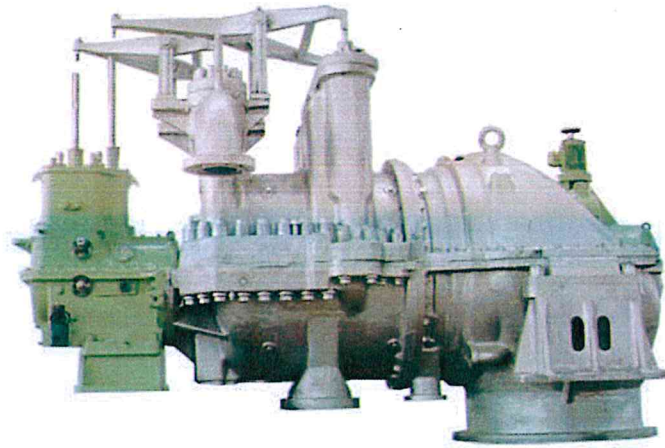
En las turbinas de vapor, el calor aportado al proceso, tiene como única función generar vapor de agua, sin entrar en contacto con la turbina en ningún momento. Como las turbinas de gases de ciclo cerrado, las turbinas de vapor permiten utilizar cualquier combustible, ya que el fluido no entrará en la turbina.

Existen dos tipos de turbina de vapor. Las turbinas de contrapresión y las de extracción/condensación.

La primera de ella se caracteriza porque el vapor a la salida de la turbina, es enviado directamente al proceso. Esto permite prescindir de equipos de enfriamiento como el condensador o las torres de refrigeración ya que la energía cedida se aprovecha en la cogeneración y trigeneración.



El segundo tipo se basa en la posibilidad de extraer el vapor en diversos puntos de la turbina antes de la salida al condensador. Estas extracciones permite lograr vapor a diferentes presiones y temperaturas permitiendo abastecer diferentes procesos, tales como la cogeneración o trigeneración.



Para recuperar la energía residual del proceso, es necesario condensar el vapor a la salida de la turbina para poder aportarle la energía después. ES decir, si en lugar de extraer la energía con un condensador o con una torre de refrigeración se extrae en un centro de consumo térmico, se recupera esa energía residual.

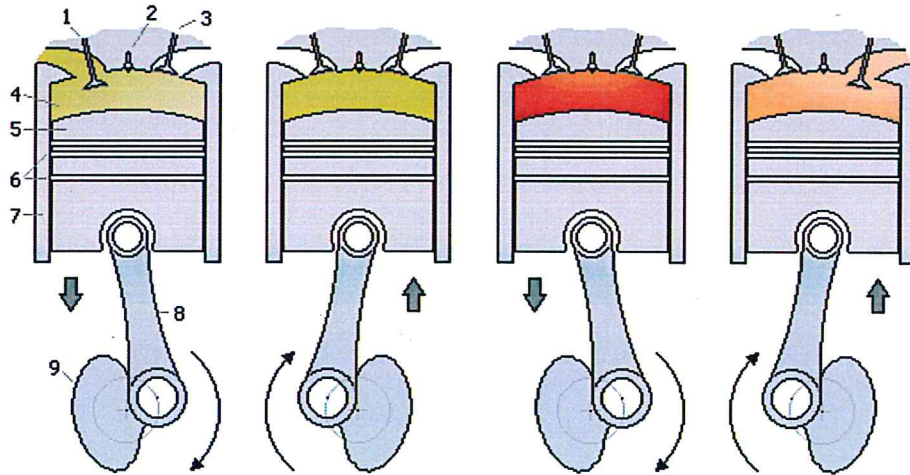
3. Motores de combustión Interna alternativos.

Estos equipos son los más utilizados en instalaciones que se requiera realizar trabajos mecánicos a partir de un combustible (ya sea para producir electricidad o para cualquier otro uso).

Estos equipos tienen un alto rendimiento, entre el 75-85%. De este porcentaje, aproximadamente el 35% está destinado a la producción de energía térmica. El 45-50% está destinado a la producción de energía térmica y el porcentaje restante son pérdidas.

Actualmente, existen dos tipos de motores de combustión interna:

- Motores de encendido provocado. En este tipo de motores la mezcla de aire y combustión se realiza mediante un ciclo Otto. Este ciclo consiste en introducir una mezcla de aire t combustible en una cámara de combustión a presiones altas. Cuando la temperatura y la presión son lo suficientemente altas, se provoca una chispa para que la mezcla se queme y realice el trabajo de expansión.
- Motores de encendido por compresión. Presentan similitudes con el tipo anterior. La principal diferencia se encuentra en que no es necesario provocar el encendido de la mezcla para que se produzca la combustión.



Este tipo de motores pueden superar los 20MW de potencia.

El método para recuperar calor es básicamente la misma que la utilizada en las turbinas de gas y de vapor.

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ELECTRICIDAD

Para seleccionar adecuadamente la tecnología de generación de electricidad se debe tener en cuenta los siguientes parámetros, que son los que influyen en el generador.

- Potencia a instalar
- Eficacia
- Flexibilidad
- Combustible
- Disponibilidad
- Factores ambientales
- Costes de capital
- Costes de operación y mantenimiento

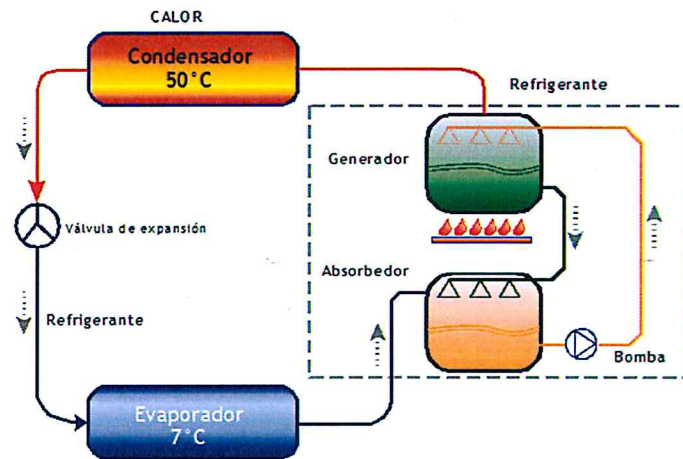
TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE FRÍO

Hasta el momento se ha descrito tecnologías para producir energía eléctrica que utilizando su calor residual genera energía térmica. Sin embargo, es posible dar un paso más. Se puede aprovechar el calor residual de para generar frío y abastecer la demanda frigorífica de una instalación.

Esta posibilidad se logra utilizando máquinas de enfriamiento por absorción cuyo funcionamiento se basa en el ciclo de Carré, que es muy similar al ciclo de Rankine pero inverso. La diferencia consiste en que, en vez de realizarse una compresión mecánica del

refrigerante se realiza una compresión térmica, que se produce entre el evaporador y el condensador mediante una bomba.

Es refrigerante es absorbido y acto seguido es bombeado en estado líquido aumentando la presión. Una vez se llega a una determinada presión, se aplica calor para que el refrigerante vuelva a dirigirse al condensador y seguir realizando el ciclo Rankine.



La gran desventaja de estos equipos es su bajo COP, suele estar en torno al 0,5%. La mayor ventaja es que al utilizarse energía residual y al tener un consumo eléctrico bajo, compensa su bajo rendimiento.

Los refrigerantes más utilizados en este tipo de maquinaria son el agua/ amoniaco y el bromuro de litio/agua, siendo el primero el fluido absorbente y el segundo el refrigerante.

TIPOS DE MÁQUINAS

Existe las máquinas de simple efecto cuyo funcionamiento es: se evapora el refrigerante en el generador debido al aporte de energía (energía residual), el refrigerante se dirige al condensador donde se condensa para luego evaporarse. Una vez es refrigerante está evaporado se dirige al absorbedor donde donde la solución concentrada procedente del generador lo absorbe, se bombea la solución diluida hacia el generador para comenzar el ciclo de nuevo.

Por otro lado las máquinas de doble efecto, operan de forma similar aunque se le añade un generador y un condensador, por lo que se recupera más cantidad de energía y aumenta el COP.

CRITERIOS DE DISEÑO

Una vez conocida la tecnología necesaria para la producción de energía eléctrica, térmica y frigorífica se debe tener en cuenta algunos criterios de diseño para instalar una planta de trigeneración.

1. Dimensionar para cubrir la demanda eléctrica. Cabe la posibilidad que se produzcan excedentes térmicos que o bien, se libera a la atmósfera o se aprovecha dicha energía para realizar una postcombustión de los gases de escape (que reduciría los contaminantes al medio ambiente) o vender dicho excedente.
2. Dimensionar para cubrir la demanda térmica. Es necesario definir cuáles son los niveles térmicos a lo que se quiere obtener la energía ya que esto depende de la maquinaria a emplear.
3. Simultaneidad entre la demanda térmica y eléctrica, se debe tener en cuenta.
 - a. La potencia máxima requerida.
 - b. Relación electricidad calor.
 - c. Decidir si el sistema está integrado en la red o aislado.
 - d. Horas anuales de la utilización del sistema.
 - e. Disponibilidad y coste del combustible.

RENTABILIDAD DE LAS INSTALACIONES

La rentabilidad de una instalación de trigeneración depende directamente de la correcta selección del equipamiento. El equipo ha de ser seleccionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La trigeneración debe integrarse en el proceso productivo.
- Optimizar el consumo de energía de la planta:
 - Aprovechar la energía de la menor calidad posible. (Aprovechar todos los desechos).
 - Sustituir los puntos de consumo directo de gas por consumo de agua o vapor.
 - Obtener la energía frigorífica a partir de equipos que consuman la energía residual del motor.

Para poder aumentar la rentabilidad, es posible que sea necesario sobredimensionar la instalación de modo que se cumplan los siguientes aspectos:

- Requisitos y procedimientos legales para poder acogerse al Régimen Especial del Sector Eléctrico.

- Seguridad en el suministro de energía, tanto térmica como eléctrica.
- Flexibilidad de la planta para poder adaptarse a la variación de demanda sin pérdida de rendimientos que conlleven un perjuicio económico.
- Flexibilidad en la producción de energía para poder adaptarse a la estructura horaria de los precios de la energía y a los cambios en los precios del combustible utilizado.
- Seleccionar la tecnología a emplear de modo que aumenten la rentabilidad del proyecto.

NORMATIVA

Toda instalación de trigeneración debe cumplir con requisitos técnicos y legales.

Por un lado, los requisitos técnicos están orientados a obtener el máximo rendimiento de la planta y, de ese modo, operar en las condiciones que proporcionen una mayor competitividad.

Por otro lado, los requerimientos legales deben cumplirse para que la Administración apruebe la nueva instalación.

La autorización por parte de la Administración puede conllevar ciertas ventajas económicas al permitir al equipo de cogeneración ciertas condiciones técnicas especiales.

REQUISITOS TÉCNICOS

Tal y como se ha comentado anteriormente, estos requisitos están orientados a conseguir una mayor rentabilidad de la instalación. No son de obligado cumplimiento, sin embargo, cuanto más se consideren, mayor será la competitividad de la planta y menor será el tiempo que se tarde en recuperar la inversión, aumentando de este modo la rentabilidad y el atractivo de la instalación.

Los principales aspectos a cumplir son los que siguen:

- Tratar de utilizar la energía de menor calidad posible en cada punto de consumo. De este modo se logra reducir el coste la energía obtenida.
- Sustituir los consumos directos de combustible para la producción de calor (o electricidad en el caso de ciclos combinados) por consumos de vapor o agua caliente obtenidos a partir de los calores residuales de los generadores de electricidad.
- En lugar de utilizar compresores para la producción de frío, utilizar máquinas de absorción, con las que se pueda producir energía frigorífica aprovechando los calores residuales.
- Dimensionar la planta para asegurar el suministro de energía. Se logra de este modo reducir el consumo de energías de “apoyo” obtenidas con sistemas independientes de la trigeneración.
- Aumentar la flexibilidad para poder seguir a las variaciones de demanda reduciendo las pérdidas de beneficio.

- Buscar tecnologías que utilicen un combustible barato y abundante para reducir los costes.
- El periodo de retorno del capital es función del número de horas que se utiliza la instalación, por lo que se debe procurar tener la mayor disponibilidad posible.

REQUISITOS LEGALES

La legislación, regulaba el precio y el destino de la electricidad producida privadamente.

A partir de la segunda crisis energética, se comenzaron a promulgar leyes con el fin de potenciar la creación de instalaciones que permitiesen a las empresas autoabastecerse, con el objetivo de reducir el consumo de combustibles a base de optimizar recursos.

Posteriormente se modificaría la anterior legislación y se complementaría en el reglamento de instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por el RD 1027/2007 y modificado en el RD 238/2013. Actualmente es este el último documento reglamentario vigente.

LEGISLACIÓN APLICABLE

Hoy en día, optimizar los recursos energéticos consumidos, continúa siendo un objetivo primordial para los gobiernos. Para ello, se ha desarrollado un sistema de incentivos para aquellos que instalen una planta de cogeneración bajo ciertos criterios. Los estímulos se basan principalmente en los siguientes aspectos:

- Reducción del precio de la energía.
- Garantía de compra de los excedentes de energía a un precio superior al de mercado.
- Reducción de los tipos de interés, permitiendo una financiación ventajosa.

El REAL DECRETO 661/2007 desarrolla reglamentariamente el Régimen Especial y fija sus objetivos. Este real decreto sustituye al Real Decreto 436/2004 y dice textualmente:

“El presente real decreto sustituye al Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y da una nueva regulación a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, manteniendo la estructura básica de su regulación.”

Tiene por objetivos fundamentales:

- a) El establecimiento de un régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- b) El establecimiento de un régimen económico transitorio para las instalaciones incluidas en las categorías a), b), c) y d), del anterior RD.

- c) La determinación de una prima que complemente el régimen retributivo de aquellas instalaciones con potencia superior a 50 MW.
- d) La determinación de una prima que complemente el régimen retributivo de las instalaciones de co-combustión de biomasa y/o biogás en centrales térmicas del régimen ordinario, independientemente de su potencia.

La **LEY 54/1997**, del Sector Eléctrico, hace compatible la liberalización del sistema eléctrico con el objetivo de garantizar el suministro, con una calidad adecuada, al menor precio posible y minimizando el impacto ambiental. Para ello se promueve la producción de energía en Régimen Especial con tecnologías de generación que utilicen energías renovables, residuos y/o cogeneración. Se define la actual clasificación en grupos y subgrupos de las instalaciones, en función de los cuales se establece el sistema tarifario de venta de energía

El sistema económico para el Régimen Especial se desarrolla en el **REAL DECRETO 413/2014**, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

1. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

A continuación, se procede a describir los elementos principales de la instalación así como su modo de funcionamiento.

- **Tipo de fuente primaria escogida**

Lo primero que necesitamos saber son las necesidades energéticas de la instalación, las cuales dependerán de su uso y la actividad que lleve a cabo.

El parámetro más relevante para la determinación de la tecnología a instalar es la relación calor/electricidad o calor/energía mecánica que ha de ser suministrada para su consumo en los diferentes equipos.

Por lo general un alto ratio de calor/electricidad requerirá una turbina mientras que bajos ratios podrán usar motores alternativos.

Como se vio anteriormente, existen tres tipos de tecnologías existentes en el mercado (Plantas con motores alternativos, plantas con turbinas de gas o vapor), y será vital realizar una buena elección, ya que ésta limitará las posibilidades de la instalación.

- **Sistema de recuperación de calor**

Se pueden utilizar múltiples sistemas, por ejemplo, la recuperación del calor del motor mediante dos etapas. En la primera aprovecha la energía disipada en la refrigeración

de las amisas de los pistones mientras que la segunda, se basa en la posibilidad de enfriar los gases de escape, típicamente, hasta los 120°C.

Dividir en dos etapas la recuperación de calor da la posibilidad de obtener dos temperaturas de agua de proceso, lo cual proporciona mucha versatilidad al sistema.

- **Combustible**

La implantación de un sistema de trigeneración, implica sustituir el consumo de energía eléctrica por otro tipo de energía que sea capaz de mantener en funcionamiento tanto las turbinas o motores y las calderas auxiliares. Puede ser tanto el gas, como el diésel o en algunos casos concretos se utiliza la biomasa.

- **Solución adoptada**

Se va a escoger un ejemplo práctico para poder explicar el funcionamiento de una instalación concreta.

Se trata de una industria para la cual se generara energía eléctrica y se utilizará el calor para calefacción, para el uso propio de la industria que es una lavandería, para el ACS y para el sistema de climatización.

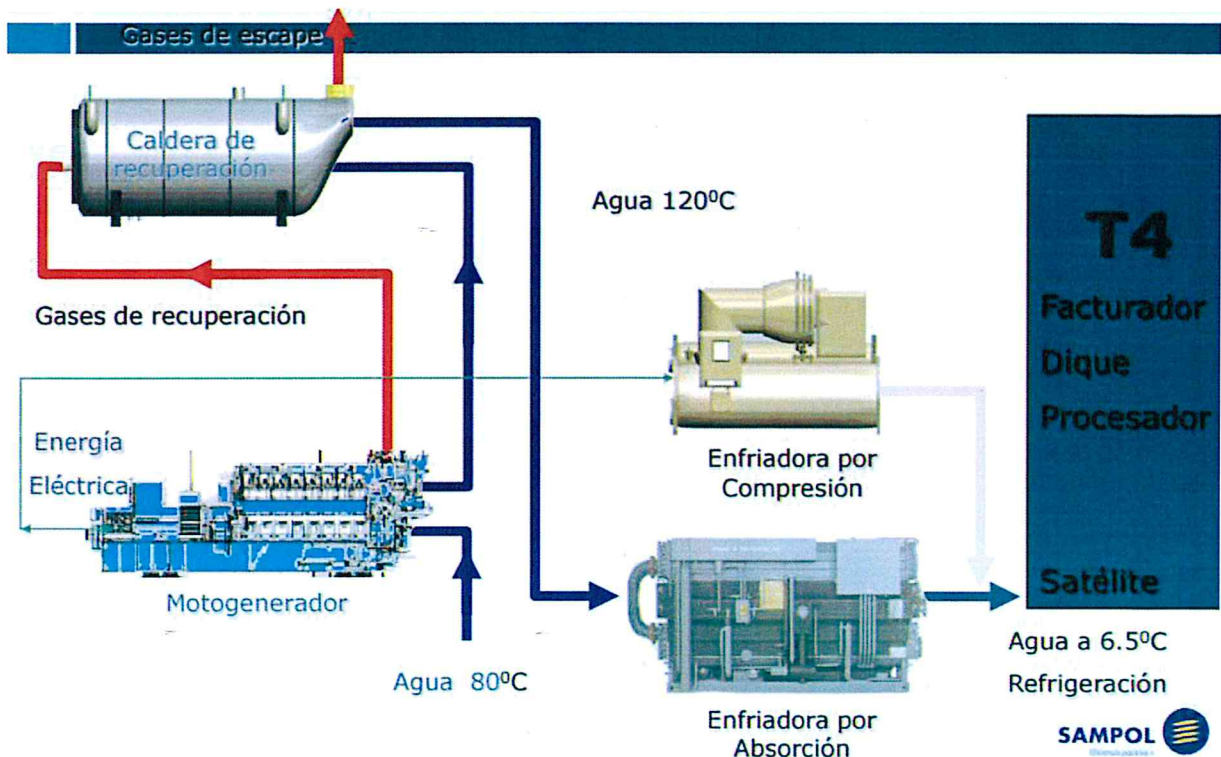
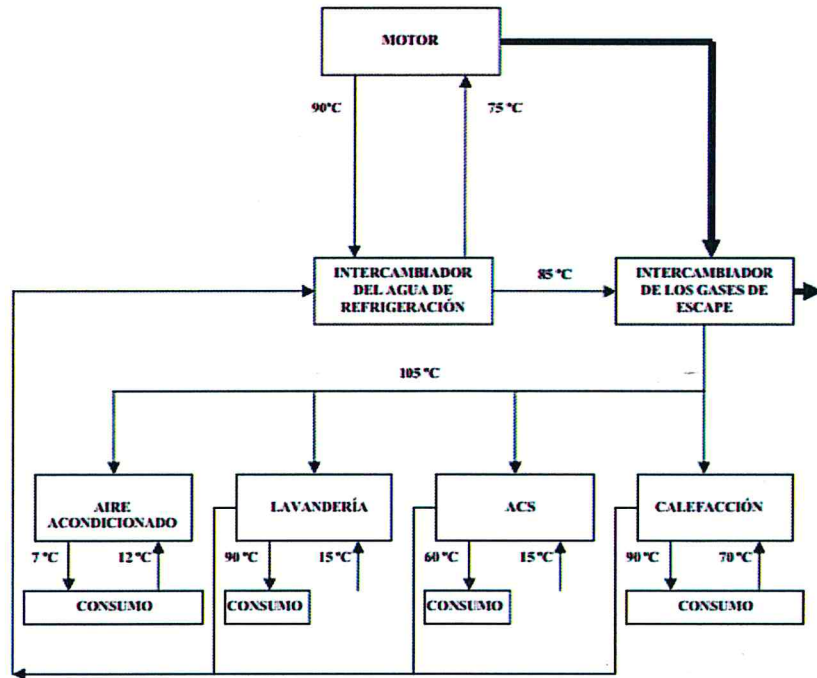
Se decide montar un único motor de gas natural que genera una potencia eléctrica de 508Kw.

Para recuperar la energía térmica del motor, se instalan dos intercambiadores, uno para recuperar el calor disipado en la refrigeración el motor, y otro en el que se enfrían los gases de escape hasta una temperatura de 120 °C. Entre los dos intercambiadores se recuperan en total 651Kw.

El transporte de la energía térmica hasta los centros de consumo se realiza con agua a 2 bares de presión. La temperatura de entrada a los consumos es de 105 °C. En el lado de los consumos, la planta dispone de tres intercambiadores de calor que calientan agua a diferentes temperaturas en función del destino, 90°C para calefacción y lavandería y 60°C para ACS.

Para el consumo de climatización, se dispone de una máquina de absorción cuya capacidad es de 380Kw. Esta máquina se alimentará con agua a 105 °C en el generador y con agua a 30°C en el condensador. De este modo, se logra que proporcione un caudal de agua a 7°C destinado al consumo de aire acondicionado.

A continuación se muestra un esquema de la instalación ejemplo, que como se comentó anteriormente se trata de una lavandería industrial, mostrando el funcionamiento de una planta de trigeneración.



2. FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se describen las características básicas de los elementos más importantes de la instalación, que se ha usado como ejemplo.

Además se adjunta un video que puede ser tomado como guía explicativa de una instalación e trigeneración).

- **Módulo de cogeneración**

Se ha optado por 1 módulo de cogeneración DEUTZ TBG 620 V12 K, consistente en un motor alternativo alimentado por gas natural.

- **Equipo eléctrico**

El motor viene equipado con un generador síncrono, que funciona a 50 Hz generando 508Kw para $\cos(\varphi) = 1$ a una tensión de 400V. La potencia máxima del motor se ha seleccionado de forma que se pueda cubrir la demanda eléctrica durante todo el año, vertiendo a la red lo máximo posible y cumpliendo con el REE.

- **Equipo térmico**

La potencia térmica disponible se encuentra en función del punto de trabajo del motor, y por tanto de la demanda eléctrica.

En las dos etapas se recupera el calor gracias a la utilización del agua a 2 bar de presión que está en el circuito cerrado de recuperación de calor. La temperatura del agua tras asumir toda la energía asciende a 105°C.

La potencia total disponible en el motor asciende a 651Kw y su procedencia se describe a continuación:

- Circuito de refrigeración de las camisas

La energía recuperable en esta etapa se debe a la necesidad de refrigerar las camisas de los pistones en el motor para evitar averías de gravedad. El agua de refrigeración del motor no puede encontrarse a una temperatura superior a 90°C a la salida de las camisas ni por encima de 78°C a la entrada de las mismas.

Según la hoja de datos del motor, la potencia a disipar en las camisas es de 382Kw, la cual será completamente recuperada.

- Recuperación del calor de los gases de escape

Los gases de escape salen de la cámara de combustión a una elevada temperatura. Si se logran enfriar hasta una temperatura superior a la de rocío, típicamente se enfrían hasta 120°C, el aprovechamiento de la energía térmica de la que dispone el motor será máximo.

Así pues, tras recibir el agua del circuito el calor procedente de la refrigeración, se hace pasar por una caldera de recuperación en la que absorbe la energía de los gases de escape, enfriándolos hasta los 120°C. De este modo, se recuperan 269Kw en los gases de escape.

- **Demanda**

La demanda de la energía térmica se realiza en la calefacción, la refrigeración (climatización), el ACS y la lavandería. Hay que tener en cuenta que los consumos de calefacción y refrigeración son alternativos, calefacción en invierno y climatización en verano.

- **Sistemas de control**

En la instalación descrita deben utilizarse sistemas de control para su correcto funcionamiento. Estos sistemas llevan asociada una recogida de datos para el seguimiento y análisis de la instalación. Los parámetros a controlar serán los siguientes:

- *Control de la velocidad de los motores*
- *Control de la presión de los circuitos*
- *Control de Temperaturas*
- *Control de Estanqueidad de la máquina de absorción*
- *Control de Cristalización en la máquina de absorción*

- **Mantenimiento**

Cada parte de la instalación, tiene unas condiciones determinadas de mantenimiento que vendrán recogidas en los manuales de los fabricantes.

A parte de estos mantenimientos de tipo mecánico, deben verificarse diariamente la máquina de absorción a fin de evitar la cristalización y además periódicamente deberán realizarse un control de limpieza del agua del circuito de recuperación de calor y de los acumuladores.

3. EQUIPOS INSTALADOS

EQUIPO MOTOR-GENERADOR

El equipo elegido para producir la electricidad y del cual se recuperarán los gases de escape es un *DEUTZ TCG2016K V12*. El motor proporciona 508Kwe y 651Kw enfriando los gases de escape hasta una temperatura de 120°C. (Sus características vendrán recogidas en el catálogo del fabricante). El generador está integrado en el grupo generador. Es síncrono de 50 Hz.

RECUPERACIÓN DE CALOR

El sistema de recuperación de calor consta de tres partes principales: el intercambiador en el que se recupera el calor del agua de refrigeración, la caldera de los gases de escape y el aerorrefrigerador. Los dos primeros corresponden con las dos etapas en las que se

realiza la recuperación de calor y el tercero es un equipo auxiliar utilizado en caso de fallo en el sistema principal para mantener la temperatura del motor dentro de los límites indicados por el fabricante.

INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se utilizarán intercambiadores de calor para los distintos sistemas de la instalación que lo demanden, aportando un intercambio de energía.

EQUIPO DE ABSORCIÓN

El equipo que generará el agua fría destinada a la climatización del local, será una máquina de absorción de Li-Br / H₂O de simple efecto *TRANE CLASSIC 112* de 380Kw de capacidad térmica. El aporte de energía en el generador se realizará con agua a 105°C procedente de la caldera de recuperación de calor de los gases de escape.

El agua de condensación entrará a 29,4°C. En estas condiciones, la máquina de absorción es capaz de enfriar un caudal de agua de 58,6m³/h desde 12°C hasta 7°C para cubrir el consumo de climatización. Será necesaria la instalación de una torre de refrigeración que extraiga el calor del agua de condensación.

GRUPO DE BOMBAS

En la instalación se usarán motobombas para la circulación de agua por todos los circuitos de la instalación.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica de la planta a diseñar, consta de motores síncronos en paralelo, cuya tensión en bornes del alternador será de 380 V, y que posteriormente se elevará a 20 KV mediante transformadores de 1500 KVA.

CASO PRÁCTICO

Se van a enumerar los cálculos a seguir para diseñar una planta de trigeneración, tomando como ejemplo la lavandería industrial, y mostrando en cada apartado los pasos a seguir para realizar dichos cálculos:

1. Calculo de la demanda eléctrica

La demanda eléctrica de la instalación de trigeneración ha de estimarse revisando las facturas que recibió la industria durante un año completo. Tenemos que verificar que el motor sea capaz de cubrir en todo momento los consumos de potencia pico, si es así, el motor será capaz de cubrir el consumo total de energía.

A la hora de hacer esta estimación se tiene que tener en cuenta el hecho de que los compresores que se usaban antes dejaran de consumir energía eléctrica ya que se sustituyen por la máquina de absorción.

2. Calculo de la demanda térmica

El proceso de estimación de la demanda térmica se ha descrito anteriormente (Las diferentes etapas). Se debe tratar de minimizar la energía que la planta precise de equipos auxiliares para así optimizar la instalación.

3. Elección del motor

Los criterios considerados en la selección del motor de gas son los siguientes:

- El motor debe funcionar a plena carga para que el rendimiento sea máximo.
- El rendimiento eléctrico equivalente (REE) debe ser mayor que el 55% que establece la legislación.
- El autoconsumo de electricidad debe superar el límite del 30% de la energía eléctrica generada que impone la legislación.
- Se utilizará el motor el mayor número de horas posible para lograr una amortización de la inversión más rápida. (Se selecciona el que mostramos anteriormente).

4. Cumplimiento de la normativa (Régimen especial)

A continuación, se realizarán los cálculos de comprobación necesarios que sienten la capacidad de la instalación para acogerse al régimen especial de productores.

El rendimiento eléctrico equivalente mínimo para instalaciones de gas natural que utilicen motores de combustión interna es del 55%. El REE se calcula con la siguiente fórmula:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{\eta_g}}$$

Se ha tomado como rendimiento de la producción de calor útil (η) = 0,9, valor reflejado en el *Real Decreto 661/2007* y que podrá ser revisado en función de la evolución tecnológica de estos procesos.

Q es el consumo de energía primaria, medida por el poder calorífico inferior de los combustibles utilizados. Para obtener este valor es necesario conocer el consumo de energía del motor. Que vendrá dada, según datos del fabricante, para el punto habitual de trabajo.

La V es la producción de calor útil o energía térmica útil. En el caso de que la demanda sea de refrigeración, la energía térmica útil correspondiente tomará el mismo valor que la demanda de refrigeración final que satisfaga la cogeneración.

La E será la energía eléctrica generada medida en bornes de alternador y expresada como energía térmica, con un equivalente de 1 kWh = 860 kcal.

Tomando los valores totales de E, Q, V durante un año obtenemos el valor del REE y comprobamos que sea mayor del 55%.

5. Dimensionado de la instalación de calor

Los elementos a dimensionar se encargarán de que el intercambio de calor a realizar se produzca para lograr que la demanda reciba la energía suficiente. En el caso de que el motor dispusiera de una potencia térmica menor de la que requeriría la instalación, habrá que proveer a la instalación de acumuladores de calor, para así aprovechar la energía térmica que sobra.

Los intercambios de energía en los que se sitúan los elementos son los siguientes:

- Intercambiador de recuperación del calor de refrigeración de las camisas.
 - Aerorrefrigerador.
 - Intercambio con el agua de recuperación.
- Caldera de recuperación del calor de los gases de escape.
- Máquina de absorción.
 - Generador.
 - Condensador.
 - Evaporador
- Calefacción: Intercambiador con el agua de recuperación.

- Lavandería:
 - Intercambiador con el agua de recuperación.
 - Acumulador de agua caliente

- ACS:
 - Intercambiador con el agua de recuperación.
 - Acumulador de agua caliente sanitaria.

En función del elemento a dimensionar será preciso conocer los datos de partida para poder dimensionarlo correctamente, esos parámetros son:

- Caudal. ($Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$)
- Temperatura de entrada al intercambiador.
- Temperatura de salida del intercambiador.
- Temperatura de almacenamiento.
- Energía por unidad de tiempo a intercambiar

6. Cálculo de la máquina de absorción

Este equipo es el encargado de la producción de agua fría destinada a climatización.

En el interior del equipo de enfriamiento por absorción se producen tres intercambios de energía. El primero de ellos sucede en el generador, donde se aporta calor para evaporar el refrigerante. El segundo se produce en el condensador, donde se extrae energía del refrigerante. El tercero, en el evaporador, es el que produce el agua fría que se circulará hasta los locales a climatizar. En función de los requisitos a instalar se escogerá una máquina de absorción directamente de catálogo, o si no encontrásemos una específica habría que diseñar una acorde con las necesidades.

CONCLUSIONES

El uso de instalaciones de trigeneración ha tenido un incremento considerable en estos últimos años, ayudando así al desarrollo de las tecnologías que se usan para estos sistemas. Ello ha contribuido a expandir y proveer de confianza y firmeza mercado, dando una imagen de calidad y de aprovechamiento al máximo de la energía.

Siempre que se instala una instalación de trigeneración se busca la máxima eficiencia y rentabilidad cuidando hasta el más mínimo detalle, lográndose así que la inversión pueda ser recuperada a corto-medio plazo.

En general la rentabilidad de este tipo de proyectos es muy elevada, ya que permite a las empresas ahorrar una gran cantidad de dinero en la factura eléctrica. En este ahorro está la clave para conseguir una rápida recuperación del capital invertido.

Por último, nombrar que siempre y cuando se lleven a cabo las medidas de seguridad de suministro, funcionamiento y prolongación de la vida útil, para que la instalación tenga el menor número de imprevistos que provoquen un funcionamiento incorrecto, nos encontraremos ante una instalación muy polivalente y capaz de aprovechar casi al 100% los recursos disponibles.

BIBLIOGRAFIA

- <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/46e65e79121bc.pdf>
- (<https://www.youtube.com/watch?v=z6OramWju4w>)
- <http://www.coalinfo.net.cn/deutz/eng/Doku/TBG620K.pdf>
- <http://www.coalinfo.net.cn/deutz/eng/Doku/TCG2016.pdf>
- http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Cogeneracion_Microgeneracion_Microtrigeneracion.pdf