

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1. INTRODUCCIÓN

Se redacta el presente **Proyecto *El estudio del diseño de una Planta de Cogeneración***, como proyecto Final de Carrera, y conclusión de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial en Electrónica Industrial, plasmando en él, parte de los conocimientos adquiridos durante mi formación como alumna de la Escuela Universitaria Politécnica.

La electricidad producida por la planta de cogeneración será exportada en su totalidad, a excepción de los autoconsumos propios de la planta. Y el calor producido por la planta de cogeneración, en forma de agua caliente y vapor, será utilizado para el proceso fábrica.

1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es analizar la posibilidad de instalar diferentes tipos de motores y elegir el mejor para dicha instalación de una planta de Cogeneración en una fábrica.

El objeto fundamental de la instalación de esta central es optimizar las necesidades energéticas de la industria al aprovechar la energía térmica para los procesos de la fábrica, en forma de:

- Vapor de proceso
- Agua caliente (ACS)

Este proyecto hará una descripción básica del sistema y dispositivos para esta Instalación de Cogeneración de ciclo simple, compuesta por un grupo motor generador a gas natural de 1000Kw de potencia unitaria, sus equipos auxiliares y el sistema de aprovechamiento térmico.

Para dicho estudio de nuestra instalación se han recibido los consumos eléctricos y térmicos de la fábrica en la situación primitiva sin cogeneración. Los datos utilizados son los facilitados por la industria referentes al año 2014.

1.3. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

He elegido este proyecto porque en mi opinión la energía es el elemento más importante en nuestra actividad diaria, y por lo tanto de vital importancia para el desarrollo futuro.

Este hecho, junto con el desarrollo tecnológico que la cogeneración conlleva despierta mi interés y motivación para la elección de este proyecto. Los sistemas de cogeneración se utilizan cada vez más en las empresas y en los edificios en general porque es un medio de ahorrar (ahorro energético) mejorando la eficiencia de los procesos energéticos. Este ahorro energético nos lleva a un ahorro económico cada vez mayor debido a las constantes subidas de los precios de la energía, principalmente el petróleo.

Espero, con este proyecto, adquirir un conocimiento que me puede ser útil en mi vida futura como ingeniera.

1.4. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Primero se estudiarán todas las leyes referentes a la cogeneración para ver las condiciones necesarias que debe cumplir la planta y como esta será primada. Posteriormente se realizará un estudio inicial para calcular la potencia eléctrica máxima teórica necesaria del motor con la fórmula del REE, con valores típicos de rendimientos eléctricos para satisfacer la demanda de la fábrica.

Y por último realizaremos diferentes cálculos de REE, para cada tipo de motor (la potencia eléctrica de cada motor se aproxima a la calculada inicialmente para su instalación) y así obtener el mejor motor para la instalación de la planta de Cogeneración.

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación de la central de cogeneración va a efectuarse en Almería.

El consumidor (en nuestro caso la fábrica) recibe la energía eléctrica y la energía térmica (gas natural).

Se debe tener en cuenta en las especificaciones del fabricante las condiciones ambientales que tiene nuestra instalación.

La distribución de la demanda térmica y eléctrica es más o menos uniforme, aproximaremos éstas demandas con las facturas del año 2014. La fábrica funcionará durante 24 horas de Lunes a Viernes, menos en el mes de agosto que estará parada la planta de Cogeneración.

Además el régimen de funcionamiento del motor debe cumplir un rendimiento energético mínimo establecido por Ley, el Rendimiento Energético Equivalente, que para instalaciones de cogeneración de este tipo es del 55%, pudiendo verse reducido en un 10% si la potencia instalada no supera el Mw.

La instalación se compondrá principalmente de un motor, de combustión interna alternativo, de una potencia que rondará el Mw. y que funcionará con gas natural. Los motores alternativos son máquinas volumétricas consistentes básicamente en un dispositivo cilindro- émbolo en el que se introduce a través de unas válvulas o lumbreras el aire y el combustible. Una vez efectuada la combustión, los gases resultantes de la misma son expulsados al exterior a través de las válvulas de escape. Mediante las reacciones químicas de combustión se libera

energía química del combustible siendo parte de ésta energía transformada en el efecto útil del motor, que en una aplicación convencional es el trabajo mecánico que se transmite. El funcionamiento del motor requiere una refrigeración continua de sus distintos elementos.

Para ello, se cuenta con tres intercambiadores de calor:

- Se refrigera el agua en contacto con el motor así como el aceite de lubricación, lo que conforma el Circuito de Alta. Los circuitos de agua necesarios, así como los distintos cambiadores constituyen a la primera parte del sistema de recuperación de calor.
- La segunda parte la constituye la caldera de recuperación que produce vapor de agua aprovechando el calor de los gases de escape. El objetivo fundamental del sistema de recuperación de calor es, por una parte la generación de vapor en la caldera de recuperación, y por otra la obtención del máximo caudal de agua caliente a la máxima temperatura posible para su consumo en la fábrica.
- El tercer sistema es el de baja, se intercambia calor con el circuito del postenfriador, ésta energía no es aprovechable debido a la baja temperatura. El motor nos proporciona varias fuentes térmicas, dos de ellas aprovechables como son los gases de escape, las camisas y el aceite. Además se considera potencia térmica no aprovechable la referente a radiación que se va al ambiente así como el circuito de baja.

- Gases de escape: constituyen la fuente de calor de más alta temperatura disponible en cada motor. La temperatura de salida de los gases de escape es de 400° C. La temperatura de salida de los gases del recuperador dependerá de la temperatura del fluido que se deba calentar, así como del rendimiento que tengamos en el intercambiador. En éste caso la temperatura será de 120° C. En la instalación se dispondrá de una válvula de tres vías situadas antes de la caldera cuya función será desviar los gases de escape hacia la atmósfera en caso de que la caldera se encuentre fuera de servicio, cuando la caldera esté en uso los gases de escape también saldrán a la atmósfera pero después de haber sido reducida su temperatura en el intercambiador.

- Circuito de alta temperatura: Éste circuito procede del sistema de refrigeración del motor y proporciona, al igual que los gases de escape, aunque en menor medida, una potencia térmica recuperable.



Ilustración 2: Emplazamiento

1.6.2. Descripción

La **Planta de Cogeneración** será instalada en el interior de una nueva nave desmontable con una superficie de 161,56 metros cuadrados.

La nave desmontable se dividirá interiormente en las siguientes salas:

Tabla 1: Cuadro de superficies

CUADRO DE SUPERFICIES		
SALAS	SUPERFICIE(m²)	VOLUMÉN ÚTIL(m³)
Sala Control y Cuadros de BT	14,74	51,59
Sala Motor	52,23	287,26
Sala de Transformador	7,87	21,54
Sala Calderas	72,08	374,26
TOTAL	145,68	

1.6.3. Descripción de la fábrica

Las necesidades energéticas demandadas por el proceso se basan en:

- Energía Eléctrica producida por el grupo generador, destinada a su exportación a la red eléctrica y al autoconsumo propio de la planta de cogeneración.
- Energía Térmica producida por los grupos generadores, es destinada a calentar agua y obtención de vapor que serán utilizados en el proceso productivo de la empresa S.A.T. ALMENDRAS DE ALMERIA.

Las demandas térmicas se obtienen utilizando gas natural canalizado como energía primaria.

Las necesidades de calor en la planta se han obtenido a partir de las facturas por las compras de combustible efectuadas a lo largo de un año de funcionamiento.

La demanda de calor de la instalación y la factura antes de la cogeneración a lo largo del año 2014 es:

Tabla 2: Factura de gas natural sin cogeneración 2014

	TOTAL Kwh.	TOTAL EUROS
ENERO	693.637	20.787
FEBRERO	625.608	18.956
MARZO	615.355	18.094
ABRIL	458.164	13.827
MAYO	443.749	12.608
JUNIO	362.600	10.459
JULIO	258.801	7.828
AGOSTO	202.833	6.409
SEPTIEMBRE	226.757	7.069
OCTUBRE	389.933	11.137
NOVIEMBRE	449.295	12.627
DICIEMBRE	849.457	22.669

La demanda eléctrica de la instalación y la factura antes de la cogeneración a lo largo de un año es:

Tabla 3: Factura de la demanda eléctrica sin cogeneración 2014

	TOTAL ACTIVA Kwh.	TOTAL EUROS
ENERO	305.238	25.253
FEBRERO	262.947	22.865
MARZO	274.693	22.157
ABRIL	219.316	17.635
MAYO	305.327	22.974
JUNIO	342.563	25.225
JULIO	386.121	29.131
AGOSTO	379.786	30.015
SEPTIEMBRE	341.287	31.202
OCTUBRE	344.257	31.364
NOVIEMBRE	316.765	31.891
DICIEMBRE	305.600	30.489

1.7. COGENERACIÓN

1.7.1. Concepto de la Cogeneración ¿Qué es?

La Cogeneración, o la combinación de calor y energía, como también se la conoce, es simplemente la generación simultánea de calor y electricidad.

La generación de electricidad produce una gran cantidad de calor, el cual, usando métodos convencionales es frecuentemente malgastado.

La cogeneración recupera este calor "despilfarrado" y lo transforma dándole una utilidad - normalmente en vapor o en agua caliente, que suelen usarse para una gran variedad de procesos, sistemas de calefacción...

Por lo tanto, y volviendo a nuestra definición, diremos que La Cogeneración es un sistema de alta eficiencia energética, en el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica (electricidad) y energía térmica (calor) a partir de la energía primaria. Esta energía primaria se suele obtener mediante la combustión de combustibles fósiles como el gas o el petróleo.

Al generar electricidad mediante un alternador, movidos por un motor térmico o una turbina, el aprovechamiento de la energía química del combustible (eficacia térmica) es solamente del 25% al 40%, y el resto debe disiparse en forma de calor. Con la cogeneración se aprovecha un 70% de la energía, mediante la producción de agua caliente y/o calefacción o incluso en las centrales térmicas la generación de nuevo de energía eléctrica mediante el vapor a presión.

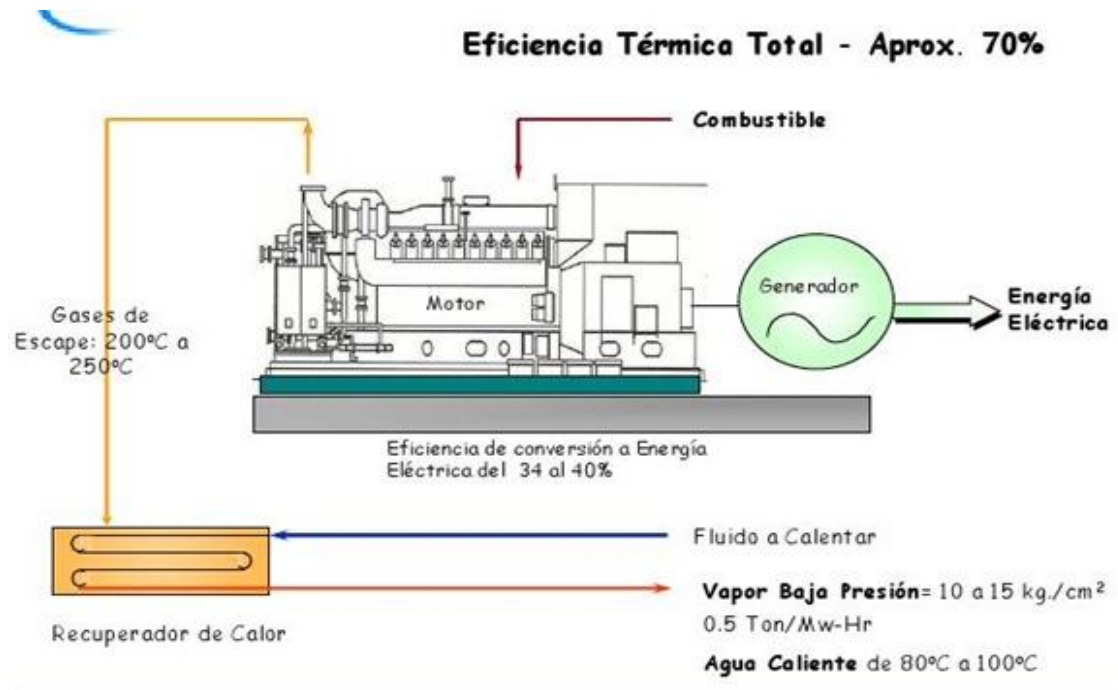


Ilustración 3: Esquema cogeneración

1.7.2. Evolución Histórica de la cogeneración

Hace ya más de cien años se aprovechaba el calor residual de las centrales eléctricas.

El crecimiento del sector industrial requería cantidades crecientes de energía eléctrica, y como las redes de distribución de las compañías eléctricas estaban poco extendidas y la seguridad de suministro continuo presentaba escasa fiabilidad, las industrias tuvieron que generar su propia electricidad. La importancia de la cogeneración fue disminuyendo a medida que se extendían las redes de distribución de energía eléctrica y se abarataban los costes de energía primaria. Hoy en día se ha producido un resurgimiento de estos procedimientos como consecuencia del encarecimiento de la energía eléctrica generada en las centrales térmicas convencionales.

La cogeneración en España, en el sentido en que hoy la entendemos como proyecto de optimización energética industrial, comienza prácticamente en 1986. Este límite temporal se mantiene igualmente si el criterio que se adopta en el tecnológico, ya que efectivamente este año marca una separación neta entre los proyectos basados en la turbina de vapor y los nuevos proyectos basados fundamentalmente en máquinas de combustión internas, tanto turbinas de gas como motores alternativos.

El ahorro y la eficiencia energética, se alcanzan con varios instrumentos, siendo uno de los más importantes la producción eléctrica en régimen especial, tanto cogeneración como energías renovables y tratamiento, reducción o combustión de residuos. Frente al futuro, la cogeneración ofrece tan importantes ventajas sobre cualquier otro sistema de producción de electricidad que parece tendrá asegurado su desarrollo por las siguientes razones:

- Ahorro energía primaria en generación eléctrica y sustitución de combustibles por el calor residual aprovechado.
- Es el proceso más eficiente y menos contaminante para producir electricidad a partir de gas natural o derivados del petróleo.
- Posibilidad de utilizar residuos para la producción eléctrica.

- Ahorro en transporte y distribución eléctrica por la proximidad entre transporte y consumo.
- Es el proceso más económico y que permite el empleo de suministros locales, ofreciendo importantes ventajas en las áreas donde se aplica.
- Sigue el concepto de "Producción Descentralizada" propugnado por las directrices europeas por sus indudables ventajas frente al obsoleto sistema de producción centralizada.

En los sectores residencial y terciario, a diferencia del sector industrial, la demanda de energía depende especialmente de las condiciones climatológicas y de las costumbres en la utilización de la energía, y se caracteriza por presentar grandes fluctuaciones horarias y estacionales. Además, los consumos eléctricos se presentan principalmente en horas punta, de forma que el precio de la electricidad es muy superior al del sector industrial.

Por otra parte, existe la posibilidad de mejorar la curva monótona de demanda térmica, simultaneando la cogeneración con la producción de refrigeración mediante máquinas de absorción. Esto es lo que se conoce como Trigeneración, que consiste en la producción conjunta de calor, electricidad y frío. Básicamente, una planta de Trigeneración es sensiblemente igual a una de cogeneración, a la que se le añade un sistema de absorción para producción de frío. Básicamente, una planta de Trigeneración es

sensiblemente igual a una de cogeneración, a la que se le añade un sistema de absorción para producción de frío.

Acogiéndose a las leyes que se han promulgado en España desde el año 1982 y que implican una serie de ventajas para el autogenerador, se han realizado varias instalaciones de cogeneración en estos sectores, que si bien a nivel individual tienen potencias y consumos no demasiado grandes, en conjunto representan un potencial de ahorro energético nada despreciable.

Al comparar la cogeneración con los sistemas convencionales de generación de energía térmica y eléctrica, es necesario tener presente la óptica desde la que se efectúa esa comparación:

Para un país:

Ventajas:

- Ahorro de energía primaria.
- Mayor diversificación energética
- Disminución de la contaminación
- Ahorro económico

Inconvenientes:

- Normativa
- Infraestructura

Para las compañías eléctricas:

Ventajas:

- Incremento en la garantía del suministro eléctrico
- Posibilidad de rebajar la potencia en reserva
- Utilización más económica de sus medios de producción

Inconvenientes:

- Problemas de regulación de la red
- Menor mercado

Para el usuario:

Ventajas:

- Ahorro económico
- Mayor garantía de suministro

Inconvenientes:

- Inversión adicional
- Aumento de la contaminación local

1.7.3. Aplicaciones de la Cogeneración

Puesto que la cogeneración es una forma muy eficiente de generación de energía, la mayor rentabilidad se presenta en los sectores intensivos en energía. Otra ventaja importante

de la implantación de cogeneración es que mejora la fiabilidad del suministro eléctrico.

El requisito para la implantación de cogeneración es que exista un consumo de calor y/o frío. El tipo de calor necesario conducirá a un tipo determinado de motor primario y de instalación. Otro factor que influye decisivamente sobre el tipo de instalación son los combustibles disponibles. Los consumos térmicos en alta temperatura favorecen el uso de las turbinas de gas, y los de agua caliente a los motores alternativos. En este sentido, hay que hacer primero una revisión de los consumos finales, para determinar si realmente es preciso la temperatura utilizada, tanto si se trata de gases calientes como vapor, puesto que a menudo para unificar se utiliza siempre el nivel térmico o entálpico más alto.

En todo caso si existe consumo térmico, se puede instalar cogeneración y sólo el tipo de planta y su optimización es la que viene influida por el tipo y tamaño de consumo.

Como toda instalación eficiente, es más cara que una instalación convencional, el tiempo de funcionamiento influirá también en su rentabilidad.

Es decir las industrias idóneas para instalar plantas de cogeneración son aquellas con gran consumo térmico y muchas horas de funcionamiento.

Una relación no exhaustiva de sectores industriales idóneos para cogeneración es la siguiente:

- Pasta y papel
- Industrias químicas
- Industria petroquímica y de refino de petróleo
- Industrias cerámicas
- Industria alimentaria
- Empresas de producción de CO₂
- Tratamiento de residuos
- Depuradoras y tratamiento de agua
- Empresas del sector automoción

El sector industrial ha sido tradicionalmente el sector con mayor penetración de cogeneración. No obstante, el sector terciario o de servicios puede rentabilizar plantas de cogeneración, pues tiene necesidades térmicas importantes, en la mayoría de los casos para climatización. En este caso la utilización de equipos de absorción es un factor decisivo, porque permite un aumento del número de horas reutilización del calor y una regularidad de la demanda. Entre las instalaciones con mayores posibilidades de implantación estarían las siguientes:

- Hospitales
- Colegios y universidades
- Sector Residencial (District Heating)
- Hoteles

- Piscinas climatizadas
- Aeropuertos
- Centros comerciales

1.7.4. Elementos de una Planta de Cogeneración

Los elementos comunes a cualquier planta de cogeneración son los siguientes:

1. Fuente de energía primaria. Suele ser gas natural, gasóleo o fuelóleo.

2. El elemento motor. Es el elemento encargado de convertir energía térmica o química en mecánica. Dependiendo del tipo de planta, puede tratarse de turbinas de gas, turbinas de vapor o motores alternativos.

3. El sistema de aprovechamiento de energía mecánica. En general suele estar formado por un alternador que la transforma en eléctrica, muy versátil y fácil de aprovechar, pero también puede tratarse de compresores, bombas, etc, donde la energía mecánica se aprovecha directamente.

4. El sistema de aprovechamiento de calor. Puede tratarse de calderas recuperadoras de calor de gases de escape, secaderos o intercambiadores de calor, o incluso unidades de absorción que producen frío a partir de este calor de bajo rango.

5. Sistemas de refrigeración. Al final, siempre una parte de la energía térmica contenida en el combustible no será aprovechada en la planta y debe ser evacuada. Las torres de refrigeración. Los aerocondensadores o los intercambiadores suelen ser elementos habituales de estos sistemas. Un objetivo muy importante del diseño de una planta de cogeneración es minimizar esta cantidad de calor desaprovechada y evacuada a la atmósfera.

6. Sistema de tratamiento de agua. Tanto el sistema de refrigeración como el de aprovechamiento de calor requieren unas especificaciones en las características físico-químicas del fluido que utilizan (generalmente agua) que requiere de una serie de sistemas para su tratamiento y control.

7. Sistema de control, que se encarga del gobierno de las instalaciones, normalmente muy automatizadas.

8. Sistema eléctrico, que permite tanto la alimentación de los equipos auxiliares de la planta, como la exportación/importación de energía eléctrica necesaria para cumplir el balance. La fiabilidad de esta instalación es muy importante, así como la posibilidad de trabajo en isla, lo que permite alimentar la fábrica en situación de deficiencia de la red externa y estar disponible inmediatamente en el momento que se restablezcan las condiciones del servicio.

1.8. TECNOLOGÍAS DE COGENERACIÓN

Una planta de cogeneración está formada por los siguientes sistemas básicos:

- Un propulsor
- Un generador de electricidad (alternador)
- Un sistema de recuperación de calor
- Un sistema de control.
- Sistemas de refrigeración, como torres o aerocondensadores.
- Sistemas auxiliares (bombas, compresores, etc.)

El componente más importante es el propulsor, el cual convierte la energía contenida en el combustible en energía mecánica y calorífica. Los dispositivos de conversión más ampliamente utilizados son las turbinas de vapor (TV), las turbinas de gas (TG) y los motores alternativos de combustión interna (MACI), fundamentalmente.

1.8.1. Cogeneración con motor alternativo de gas o fuel

Los motores alternativos de combustión interna (MACI), se utilizan para la transformación de la energía de los combustibles en trabajo mecánico. Equipan prácticamente a todos los vehículos de transporte por carretera y tienen implantación en el sector naval, aeronáutico, industrial y de sistemas auxiliares. Son máquinas volumétricas y sus componentes básicos son el cilindro-pistón y el árbol cigüeñal,

que mediante un sistema biela-manivela es el encargado de transformar el movimiento lineal del pistón sobre el cilindro en un movimiento rotatorio.

Utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración. Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias en máquinas de simple efecto.

Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW), en las que la generación eléctrica es muy importante en el peso del plan de negocio. Los motores diésel son la máquina térmica que más rendimiento eléctrico tiene, aunque hay motores de gas, que operan con sistemas de ignición forzada que proporcionan un rendimiento (en el eje del motor o mecánico) próximo al 48%. El límite del 50% está a la vuelta de la esquina para estos motores especializados en la producción de energía y calor.

El Reparto de energía en una planta con motor alternativo es aproximadamente como muestra la figura. (Se ha representado el caso de un motor de gas del orden de 3 o 4 MW).

Los MACI tienen a su favor:

- Gran variedad de combustibles que pueden utilizar.

- Tecnología sencilla y bastante fiable por llevar mucho tiempo en el mercado.
- Arranque rápido (10s-15s).
- Un buen comportamiento a carga parcial y flexibilidad de funcionamiento, les permite responder de manera casi instantánea a las variaciones de potencia sin que conlleve un gran incremento en el consumo específico.
- Operación intermitente: facilidad para operar en condiciones de funcionamiento intermitentes y de carga variable.
- Fácilmente ampliables: Son equipos más modulares y con menos problemas para la operación en paralelo, que las turbinas y microturbinas de gas.
- Amplia gama de potencias que va desde 3 kW hasta 30MW.
- Relativa baja inversión por Kw de potencia instalado.
- Pueden funcionar con GN a baja presión (< 1 bar).
- Tareas de mantenimiento in situ, y de escasa complejidad.

Y por el contrario, tienen los siguientes inconvenientes:

- Han de ser refrigerados, incluso aunque el calor residual no se aproveche.
- Baja relación potencia / peso (comparado con las Turbinas de Gas).

- Fuerzas internas no equilibradas, que requieren bancadas robustas y aislantes.
- Ruido de baja frecuencia.
- Costes de mantenimiento elevados. Estudio de Viabilidad y diseño de una planta cogeneración para una industria cárnica

Su mayor inconveniente es la dificultad del aprovechamiento de calor, ya que no existe una única fuente de energía térmica, sino hasta cuatro:

- Aceite ($< 95^{\circ}\text{C}$): entre 0,1 y 0,3 kWh por kWhe generado.
- Gases de escape ($< 650^{\circ}\text{C}$): del orden de 0,45 kWh por kWhe generado.
- Agua de refrigeración ($< 120^{\circ}\text{C}$): entre 0,5 y 0,8 kWh por kWhe generado.
- Aire de admisión (en motores turboalimentados) ($< 120^{\circ}\text{C}$): del orden de 0,05 kWh por kWhe generado.
- Pérdidas por radiación: del orden de 0,2 kWh por kWhe generado.

Los gases de escape contienen aproximadamente un tercio de la energía del combustible, que puede ser usado para producir vapor (normalmente por debajo de los 25 bar), agua sobrecalentada y/o agua caliente. Algunas aplicaciones industriales usan directamente los gases de escape para

procesos de secado, sin pasar esa energía a un fluido calo portador como es el vapor o el agua sobrecalentada. En otras el fluido que se utiliza como vehículo para transportar el calor es aceite térmico. Se emplean cuando se requieren altas temperaturas (200-250 °C) para el proceso.

Para el mejor aprovechamiento térmico del agua del motor, las fuentes de calor del mismo (refrigeración de camisas y culatas, refrigeración del aceite y refrigeración del aire a la salida del turbocompresor) se separan en dos corrientes. Una es el circuito de alta temperatura, integrado por la refrigeración del aire. Esta agua típicamente sale del motor a 90°C. La segunda corriente es el agua de baja temperatura, que integra la segunda etapa de refrigeración del aire de admisión y la refrigeración del aceite. La temperatura de salida de esta agua es del orden de 40 a 50°C.

El agua de refrigeración del aceite y de refrigeración del aire de admisión después de atravesar el turbocompresor suelen estar unidos y raramente se aprovechan, por su baja temperatura (30-40°C). En ocasiones, este calor se utiliza como precalentamiento del agua de circuito anterior. Normalmente se desecha y se vierte a la atmósfera con la ayuda de una torre de refrigeración o de un aerorefrigerador.

1.8.2. Cogeneración con turbina de gas

En los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transformará con la

ayuda del alternador en energía eléctrica. Su rendimiento eléctrico es normalmente inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en los gases de escape, que están a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor en una caldera de recuperación.

Cuando se presenta el denominado ciclo simple, el sistema consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación, generándose vapor directamente a la presión de utilización en la planta de proceso asociada a la cogeneración. Su aplicación es adecuada cuando las necesidades de vapor son importantes (10 t/h), situación que se encuentra fácilmente en numerosas industrias (alimentación, química, papelera). Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables a partir de un determinado tamaño y si tienen un importante número de horas de funcionamiento con demanda de calor continua. Si la demanda de vapor (o calor de una forma más general) es mayor que la que pueden proporcionar los gases de escape, puede producirse una cantidad adicional utilizando un quemador especial, con el que cuenta la caldera. Esto puede hacerse porque los gases de escape son aun suficientemente ricos en oxígeno. Por el contrario, el escape de un motor alternativo tiene un contenido de oxígeno menor del que permite una combustión segura, por lo que es necesario enriquecerlo previamente con oxígeno, si se quiere hacer la post combustión, y ante esa dificultad, se suele optar por

mantener caldera auxiliares de reserva para el caso de necesidades suplementarias de calor.

El diseño del sistema de recuperación de calor es fundamental, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que el peso del mismo es mayor que en las plantas con motores alternativos.

Resumiendo, la turbina de gas presenta las siguientes ventajas:

- Alta fiabilidad que permite prolongados periodos de uso sin atención directa.
- Calor útil a T elevada ($\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Elevada y estable velocidad de giro. Lo que permite un buen control de la frecuencia de la red.
- Alta relación potencia / peso.
- No requiere agua ni otro tipo de refrigeración.
- Coste de inversión (por kW_e) relativamente bajo.
- Alta capacidad de uso como sistema multi combustible (gasóleo, LPG, gas natural, petróleo, etc.).

Y por el contrario, presenta los siguientes inconvenientes:

- Escasa disponibilidad de tamaños, dentro de un cierto rango de potencias.
- Rendimiento mecánico inferior a los motores alternativos (depende mucho del tamaño).

- Requiere suministro de gas a presión.
- Elevado nivel de ruido.
- Aunque pueden operar de modo continuo a baja carga, lo hacen con un rendimiento bajo.
- Necesitan combustible sin humedad.
- Sus prestaciones dependen mucho de la T ambiente.
- Pueden necesitar periodos de mantenimiento largos.

1.8.3. Cogeneración con turbina de vapor

En estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. El uso de este ciclo fue el primero en cogeneración. Actualmente su aplicación ha quedado prácticamente limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales, como biomasa y residuos. El principal inconveniente de las plantas de vapor para su aplicación en cogeneración, es su bajo rendimiento en comparación con los motores alternativos y las turbinas de gas. Ello es especialmente grave en el caso de que se extraiga calor del vapor de salida de la turbina, ya que se condiciona la presión (y con ello la temperatura) final de expansión, lo que afecta al rendimiento del ciclo.

Dependiendo de la presión de salida del vapor de la turbina se clasifican en turbinas a contrapresión, en donde

esta presión está por encima de la atmosférica, y las turbinas a condensación, en las cuales ésta está por debajo de la atmosférica y han de estar provistas de un condensador.

VENTAJAS:

- Puede emplearse cualquier combustible.
- La relación calor/trabajo puede modificarse fácilmente.
- Pueden atenderse demandas de calor útil a diferentes temperaturas.
- Amplio intervalo de potencias.
- Tiempo de uso elevado.

INCONVENIENTES:

- Relación calor/trabajo elevada.
- Coste de inversión elevado.
- Puesta en marcha lenta.

1.8.4. Cogeneración en ciclo combinado con turbina de gas

La aplicación conjunta de una turbina de gas y una turbina de vapor es lo que se denomina ciclo combinado.

Los gases de escape de la turbina atraviesan la caldera de recuperación, donde se produce vapor de alta presión. Este vapor se expande en una turbina de vapor produciendo una energía eléctrica adicional. El escape de la turbina será vapor de baja presión, que puede aprovecharse como tal o

condensarse en un condensador presurizado, produciendo agua caliente o agua sobrecalentada, que será utilizada en la industria asociada. En este tipo de ciclo, si la demanda de calor disminuye, el vapor sobrante en el escape de la turbina puede condensarse, con lo que toda energía de los gases no se pierde sino que al menos se produce una cierta cantidad de electricidad.

En un ciclo combinado con turbina de gas el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hacen en función de las condiciones de los gases de escape de la turbina de gas y de las condiciones de vapor necesarias para la fábrica. Por ello, se requiere una ingeniería apropiada capaz de diseñar procesos adaptados al consumo de la planta industrial asociada a la cogeneración, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.

1.8.5. Elección de la tecnología de cogeneración

La elección de la tecnología más apropiada para cada centro consumidor de energía, depende de una serie de factores como por ejemplo la potencia eléctrica que produce el grupo, la relación entre electricidad/calor, el nivel de temperaturas de la demanda térmica, la disponibilidad de combustibles, las fluctuaciones de la demanda térmica, etc.

La siguiente tabla muestra una comparación entre las posibles tecnologías para cogeneración según diversos factores para la selección de la tecnología más apropiada.

Todos los factores técnicos se transforman, al fin y al cabo, en económicos. Además de ellos hay que considerar un factor puramente financiero: la inversión. No hay grandes diferencias en la inversión de una planta con motores y turbinas intermedias (10 MW); no obstante, la inversión en plantas pequeñas (0,5-4 MW) es bastante mayor con turbinas de gas que con motores. En plantas con turbinas el coste por MW aumenta a bastante velocidad por debajo de 5 MW, mientras que en motores se mantiene bastante constante el coste por MW, incluso para 2 o 3 MW.

En nuestro caso, para el rango de potencias considerado, entorno a 2 MW, los MACI, son una mejor solución para la cogeneración que las TG debido principalmente a los menores costes de equipo y al mayor rendimiento eléctrico.

1.8.6. Resumen de las ventajas y desventajas de las plantas de Cogeneración

Tabla 4: Ventajas y desventajas de las plantas de Cogeneración

Tipo	Ventajas	Desventajas
Turbina de gas	Amplia gama de aplicaciones	Limitación en los combustibles
	Muy fiable	
	Elevada temperatura de la energía térmica	
	Rango desde 0,5 a 100 MW	Tiempo de vida relativamente corto
	Gases con alto contenido en oxígeno	
Turbina de vapor	Rendimiento global muy alto	Baja relación electricidad/calor
	Extremadamente segura	
	Posibilidad de emplear todo tipo de combustibles	No permite alcanzar altas potencias eléctricas
	Larga vida de servicio	
	Amplia gama de potencias	Pues en marcha lenta
	Coste elevado	
Motor alternativo	Elevada relación electricidad/calor	Alto coste de mantenimiento
	Alto rendimiento eléctrico	
	Bajo coste	
	Tiempo de vida largo	Energía térmica muy distribuida y a baja temperatura
	Capacidad de adaptación a variaciones de la demanda	

1.9. CICLOS EN LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Se clasifican normalmente dependiendo de la máquina motriz responsable de la generación eléctrica:

1.9.1. Ciclo con turbina de gas

Se produce la combustión del gas dentro de una cámara y los gases resultantes de esta reacción se introducen en la turbina. En la turbina se extrae el máximo de la energía térmica de estos gases de escape, transformándola en energía mecánica.

Es el ciclo más usual para instalaciones medianas en consumidores con demanda de vapor, y su regulación suele hacerse mediante un sistema de postcombustión que permite ajustar la producción de vapor a su demanda.

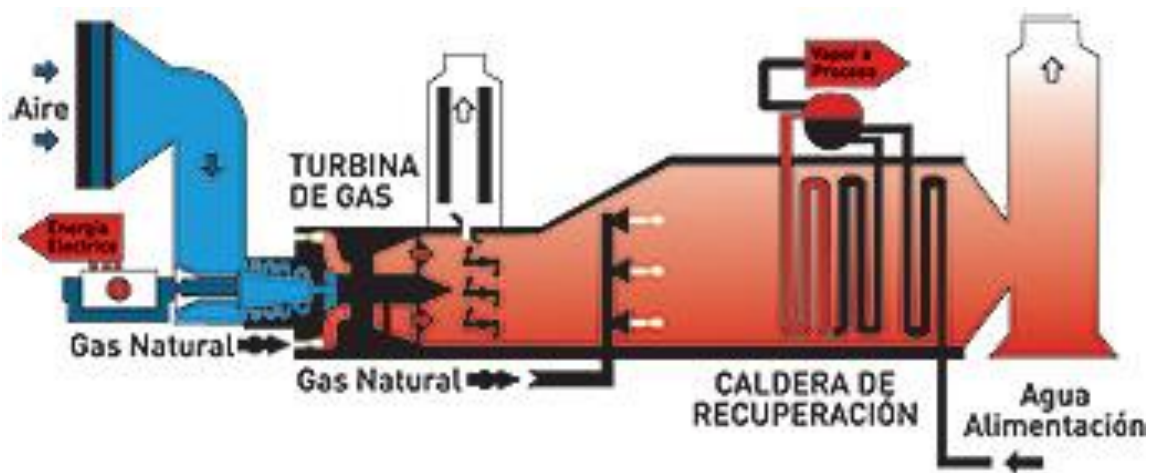


Ilustración 4: Turbina de gas en ciclo simple

1.9.2. Ciclo con turbina de vapor

La energía mecánica se produce por expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera. El sistema genera menos energía eléctrica (mecánica) por unidad de combustible que su equivalente con turbina de gas. Sin embargo, el rendimiento global de la instalación es superior.

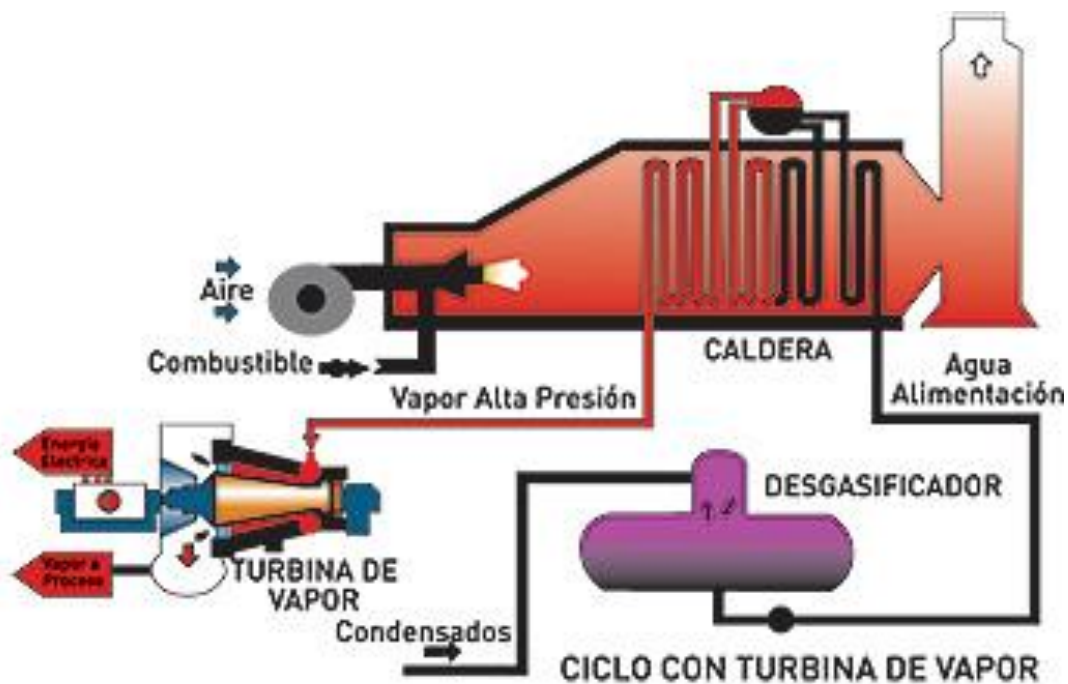


Ilustración 5: Ciclo con turbina de vapor

1.9.3. Ciclo combinado

Consiste en la aplicación conjunta de una turbina de gas y una de vapor, con todas sus posibles combinaciones en lo referente a tipos de combustibles utilizados, quemadores de postcombustión, salidas de vapor de turbina a contrapresión o condensación, etc.

El rendimiento global en la producción de energía eléctrica es mayor que las soluciones anteriores.

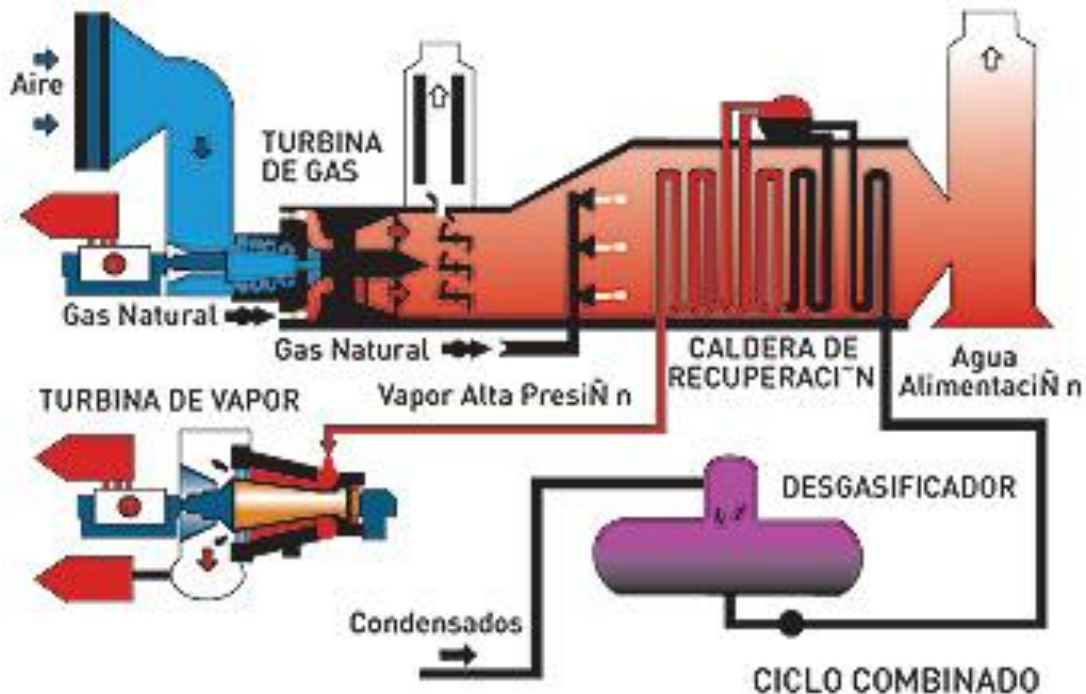


Ilustración 6: Ciclo combinado

1.9.4. Ciclo con motor alternativo

Con los motores alternativos se obtienen rendimientos eléctricos más elevados pero, por otra parte, con una mayor limitación en lo referente al aprovechamiento de la energía térmica. Esta energía térmica posee un nivel térmico inferior y se encuentra repartida entre diferentes subsistemas (gases de escape y circuitos de refrigeración de aceite, camisas y aire comburente del motor).

Los sistemas con motor alternativo presentan una mayor flexibilidad de funcionamiento, lo que permite responder de manera casi inmediata a las variaciones de potencia, sin que

ello conlleve un gran incremento en el consumo específico del motor.

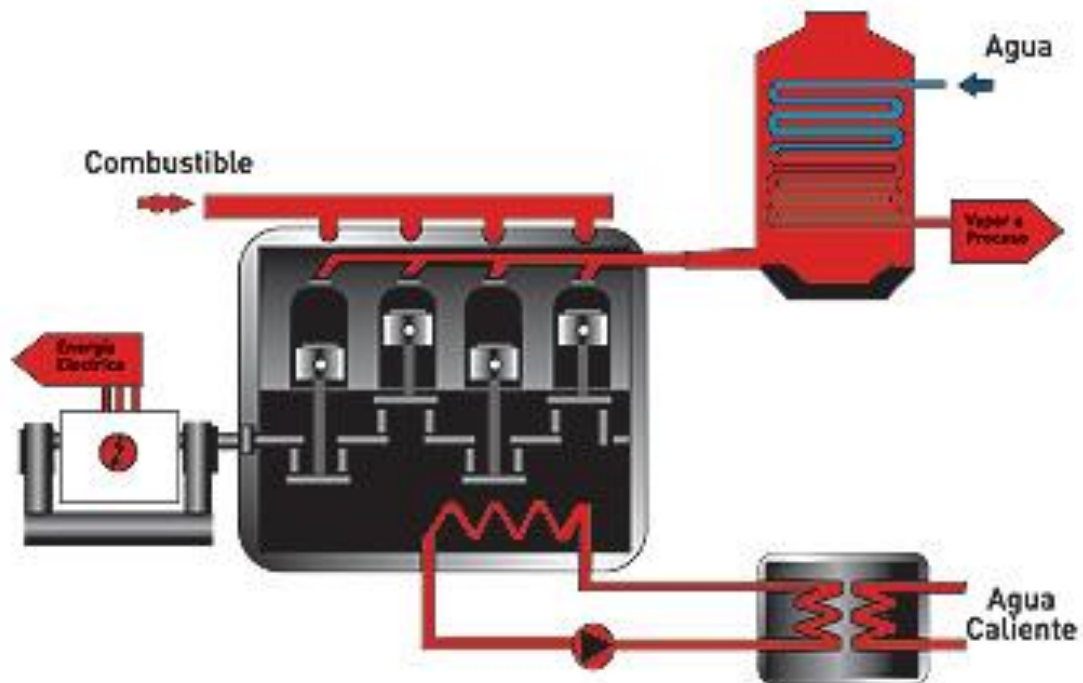


Ilustración 7: Ciclo con motor alternativo

1.10. ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS SON LAS QUE DEBEN DE REUNIR PARA PONER UNA PLANTA DE COGENERACIÓN?

- Demandas de calor y electricidad simultáneas y continuas.
- Disponibilidad de combustibles de calidad.
- Calendario laboral de, al menos, 4.500 h - 5.000 h anuales.
- Espacio suficiente y legalización adecuada para la ubicación de los nuevos equipos.
- Efluentes térmicos de calidad.

Son los sectores del papel y del refino de petróleo los más atractivos para la instalación de este tipo de plantas, debido a sus altos requerimientos de energía primaria. Hay otros sectores donde la cogeneración puede también reportar importantes beneficios, como los sectores químico y cerámico.

En la siguiente tabla analizamos la tecnología más adecuada para cada sector en función de la utilización que se haga del calor producido en la cogeneración, de las horas de utilización y del parámetro E/V de la instalación.

El parámetro E/V indica la relación entre la electricidad y el calor útil de la instalación.

El mercado potencial de los sistemas de cogeneración se encuentra principalmente en los siguientes sectores:

Tabla 5: Mercado de los sistemas de cogeneración

Sector	Utilización	Parámetro E/V
Alimentación	Vapor de agua y aire y agua calientes.	0,45
Automóvil	Producción de vapor y gases calientes para calefacción, estufas de secado, baños de decapado, etc.	0,61
Caucho	Usos térmicos a nivel bajo.	0,56
Cerámica estructural y Azulejero	Recuperación del calor de los hornos de alta temperatura para secados.	0,12
Extractiva y minería	Alto calor cogenerable.	0,67
Química	Usos térmicos a temperatura baja.	0,46
Madera y corcho	Consumo eléctrico muy importante y usos térmicos para secado.	1,26
Pasta y papel	Gran consumidor de energía eléctrica y térmica.	0,34
Textil	Vapor, agua caliente y aire caliente.	0,41
Transformadores de metal	Usos térmicos a alta y baja temperatura.	0,53

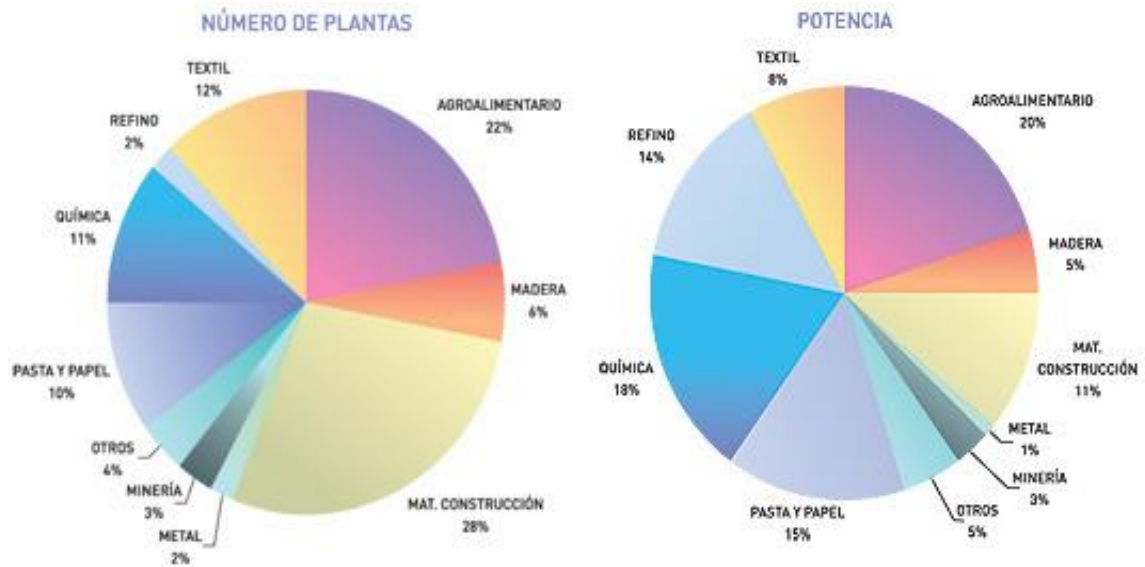


Ilustración 8: Mercado sistemas de cogeneración