

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***DISEÑO DE UNA PLANTA DE
COGENERACIÓN PARA
SUMINISTRAR ENERGÍA A UNA
FÁBRICA DE
ELECTRODOMÉSTICOS***

Alumna *Ayarza, Landa, Ainhoa*

Director *de la Peña, Aranguren, Víctor Francisco*

Departamento *Máquinas y Motores Térmicos*

Curso académico *2018/2019*

Bilbao, Junio, 2019



INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ACRÓNIMOS	4
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	8
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	9
4. PROPUESTAS DE MEJORA ENERGÉTICA.....	16
4.1. COGENERACIÓN	16
4.2. ENERGÍAS RENOVABLES	22
4.2.1. BIOMASA.....	22
4.2.2. SOLAR TÉRMICA.....	27
4.2.3. SOLAR FOTOVOLTAICA	30
4.2.4. GEOTERMIA.....	32
5. ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	38
6. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	39
7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	44
8. ESTUDIO ECONÓMICO	50
8.1. AHORRO ENERGÉTICO	50
8.2. INVERSIÓN.....	51
8.3. TIEMPO DE RETORNO SIMPLE.....	52
9. CRONOGRAMA	53
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
11. BIBLIOGRAFÍA.....	55
12. ANEXOS	56
12.1. ANEXO 1: COMPARATIVA MERCADO MACI	56
12.2. ANEXO 2: DATOS TÉCNICOS MACI JENBACHER	57
12.3. ANEXO 3: CÁLCULOS EN EES	63
12.3.1. CASO GENERAL.....	63
12.3.2. CASO MACI JENBACHER.....	65



RESUMEN

En este trabajo se analiza la posibilidad de implantar la cogeneración en una fábrica de electrodomésticos con el objetivo de suministrar energía. Para ello, se ha estudiado el proceso productivo de la fabricación de lavadoras y así conocer su funcionamiento. Además, es indispensable conocer las necesidades energéticas, tanto térmicas como eléctricas, de la planta y sus características, entre otras el espacio disponible y su ubicación. Se observa que el equipo principal de cogeneración que mejor se adecua a las necesidades térmicas, es un motor alternativo de combustión interna. Una vez escogido dicho equipo, se realizan los cálculos necesarios para conocer el estado de funcionamiento y a su vez, se realiza un estudio económico.

Etxetresna elektrikoko fabrika bat energiaz hornitzeko helburuarekin, kogenerazioa ezartzea posible den aztertuko da. Horretarako, bertako funtzionamendua ezagutzeko asmoz, garbigailuak ekoiztearen prozesu produktiboa ikertu da. Gainera, fabrikak dituen energia beharrianak jakitea ezinbestekoa da, bai termikoak zein elektrikoak, baita bertako espazio erabilgarria eta kokalekua ere. Erreparatu daitekeenez, beharrian termikoei egokien moldatzen zaien oinarritzko ekipoa barne errekontzako aldizkako motorra da. Behin ekipo hau hautaturik, fabrikaren funtzionamendu egoera ezagutzeko beharrezko kalkulak garatzen dira eta era berean azterketa ekonomikoa ere aurrera eramaten da.

The main aim of this work is to analyze if it is possible to implementing cogeneration in an appliance factory with the objective of supplying energy. For that, the production process of the washing machine manufacturing has been studied and, thus, its operation. In addition, it is essential to know the energy needs of the plant, both thermal and electrical, and the characteristics such as the available space and its location. It is observed the following: the main cogeneration equipment that best adapts to the thermal needs is an alternative internal combustion engine. Once this equipment has been chosen, the necessary calculations are carried out to determine the operating status and, in turn, an economic study.



LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ACRÓNIMOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: resultados de la planta de cogeneración	47
Tabla 2: rendimiento eléctrico equivalente según tipo de combustible	49
Tabla 3: resumen ahorro	51

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: mapa de ubicaciones de BSH en España	7
Ilustración 2: recepción del material	9
Ilustración 3: extensión de la plancha de chapa	9
Ilustración 4: embutición.....	9
Ilustración 5: plegado.....	9
Ilustración 6: forma final de la caja.....	10
Ilustración 7: panel frontal.....	10
Ilustración 8: desbobinado del acero inoxidable.....	10
Ilustración 9: forma circular	11
Ilustración 10: banda agujereada	11
Ilustración 11: tambor sellado.....	11
Ilustración 12: agitadores.....	11
Ilustración 13: comprobación de tambor.....	12
Ilustración 14: línea del mueble de la lavadora	12
Ilustración 15: premontaje del fuelle.....	13
Ilustración 16: unión del tambor y parte trasera de la cuba.....	13
Ilustración 17: soldadura de las cubas	13
Ilustración 18: ensamblaje de contrapesos a la cuba	13
Ilustración 19: fuelle de salida del agua.....	14
Ilustración 20: correa de transmisión del movimiento	14
Ilustración 21: montaje en el mueble de la lavadora	14
Ilustración 22: montaje de la electrónica	14
Ilustración 23: esquema de los componentes de la lavadora	15
Ilustración 24: sistema actual de energía.....	16
Ilustración 25: sistema energético con cogeneración	16
Ilustración 26: diferencia entre producción separada y continua (Argemí, 2010)	19
Ilustración 27: central térmica de biomasa (Residuos profesional, 2017)	23
Ilustración 28: combustibles para biomasa.....	23
Ilustración 29: procesos de la gestión de biomasa	25
Ilustración 30: Colector Cilindro Parabólico	28
Ilustración 31: espejos Fresnel.....	28
Ilustración 32: torre central	29
Ilustración 33: disco Stirling.....	30



Ilustración 34: panel solar fotovoltaico	31
Ilustración 35: variación de la temperatura según la profundidad.....	32
Ilustración 36: circuito de captación geotérmica horizontal.....	33
Ilustración 37: circuito de captación geotérmica vertical.....	34
Ilustración 38: captación de circuito abierto	35
Ilustración 39: diferentes tipos de sistemas emisores.....	36
Ilustración 40: esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica...	37
Ilustración 41: horno de convección	39
Ilustración 42: Motor Alternativo de Combustión Interna (CAT: Motor de Gas GS3612)	40
Ilustración 43: intercambiador de calor rotativo	41
Ilustración 44: intercambiador de flujo cruzado.....	41
Ilustración 45: intercambiador a contraflujo.....	42
Ilustración 46: intercambiador de calor de placas soldadas	42
Ilustración 47: esquema de la planta propuesta.....	43
Ilustración 48: esquema térmico MACI.....	48
Ilustración 49: GANTT del proyecto.....	53

LISTA DE ACRÓNIMOS:

A: ahorro
ACS: agua caliente sanitaria
APPA: Asociación de Empresas de Energías Renovables
AT: alta tensión
CCP: colector cilindro parabólico
CO₂: carbono dióxido
E: electricidad
E.E: energía eléctrica
E.T: energía térmica
GN: gas natural
I: inversión
MACI: motor alternativo de combustión interna
MWe: megavatio eléctrico
PCI: poder calorífico inferior
RD: real decreto
RE: red eléctrica
R_{EE}: rendimiento eléctrico equivalente
RSU: residuos sólidos urbanos
TG: turbina de gas
TRS: tiempo de retorno simple
TV: turbina de vapor
Q: combustible



1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de electrodomésticos se ha extendido a todo el mundo, llevando consigo un consumo de energía significativo. Cada vez son más las empresas que se dedican a la producción en cadena de diferentes tipos de electrodomésticos, lo que hace que los precios de mercado sean más competitivos. Debido a ello, para mantener un margen de beneficio se debe conseguir una máxima eficiencia a la hora de su fabricación.

El proceso productivo de los electrodomésticos es conocido como producción de línea blanca. En dichos procesos, como se explicará posteriormente, la mayor parte de la energía necesaria se utiliza en forma de energía mecánica, energía procedente de la electricidad. Asimismo, a pesar de que sea una menor cantidad, también es necesaria la energía térmica para la parte de pintado y secado de los electrodomésticos. Por lo tanto, se realizará el estudio de la implantación de una planta de cogeneración con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de la fabricación de dichos aparatos.

Analizando el mercado español de electrodomésticos nos encontramos con una gran variedad de empresas de electrodomésticos, las cuales se pueden clasificar por ejemplo por el tipo de facturación anual. Siguiendo este tipo de clasificación, nos encontramos que dentro del grupo de corporativas la que más alto apunta es la actual BSH Electrodomésticos España S.A. con una diferencia abismal respecto del segundo TEKA Industrial S.A. (el economista, 2019)

La compañía española filial del grupo BSH agrupa los electrodomésticos bajo las marcas de Bosch, Siemens, Gaggenau, Neff y Balay y tuvo su inicio en el año 1989 cuando adquirió el 50,3% del consorcio formado por las empresas nacionales Balay y Safel. Para finales de la década de 1990 el 100% del accionariado del consorcio pasó a ser de BSH Electrodomésticos España. (B/S/H/ España)

Balay tiene su inicio en 1947, cuando dos emprendedores llamados Esteban Bayona y José María Lairla unieron sus ideas y apellidos para, junto con cuatro empleados, empezar a fabricar materiales eléctricos como elevadores y voltímetros. En la década de los 50 se constituyeron las industrias Radioeléctricas Balay S.A con cuarenta trabajadores. En 1954 llegaron las primeras lavadoras de tipo convencional. En la década de los 60 se abrió el Comercial Balay con alrededor de 200 empleados y en 1966 se fabricó la primera lavadora automática. En 1970 comenzó la fabricación de la primera gama de lavavajillas y la segunda generación de lavadoras automáticas. En 1979 se comenzó a investigar el uso de la inducción electromagnética en la cocina y en 1989, tal y como se ha comentado anteriormente, Balay S.A

pasó a integrarse dentro del grupo alemán BSH, fabricándose las primeras placas.

Actualmente Balay es la marca regional de BSH para el mercado ibérico y se producen una cantidad variada de electrodomésticos en las cuatro fábricas ubicadas en España:

- lavadoras
- secadoras
- frigoríficos y congeladores
- lavavajillas
- hornos
- microondas
- placas
- campanas



Ilustración 1: mapa de ubicaciones de BSH en España

Como se puede observar en la anterior imagen, la producción de lavadoras se encuentra en La Cartuja, Zaragoza. En dicha fábrica la capacidad actual se encuentra en 700.000 lavadoras anuales y una plantilla de 350 personas pero se han llegado a alcanzar las 800.000 lavadoras anuales. Es una fábrica de monoproducción, dado que de esta manera se permite la producción en serie especializada en lavadoras. (B/S/H/ España)

* Datos obtenidos gracias a la cortesía de Balay.



2. OBJETIVOS

A la realización del siguiente trabajo se marca como alcance la obtención de los siguientes objetivos principales, los cuales coinciden con los beneficios que se obtienen al implantar una planta de cogeneración.

- Disminución del consumo de Energía Primaria.
- Mejora Medio Ambiental, mediante la reducción de las emisiones contaminantes.
- Disminución de las pérdidas e inversiones en redes de transporte y distribución eléctrica.
- Posibilidad de industrialización de zonas alejadas de la Red Eléctrica de Alta Tensión.
- Menor dependencia exterior.
- Competitividad industrial.

Todo ello se pretende conseguir modificando el suministro de energía actual por una instalación de cogeneración. Es decir, el presente proyecto se realiza para la modificación de una fábrica de electrodomésticos actualmente en funcionamiento, no para una nueva planta de producción.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso productivo para realizar una lavadora empieza con la recepción del material principal en forma de rollo de chapa de 8 toneladas. Esta materia prima nos servirá para la fabricación de 800 lavadoras. Dicha bobina se coloca en una desbobinadora, con el cual la plancha de chapa se extiende y mediante una guillotina se cortan los trozos que se utilizarán para hacer el mueble de la lavadora.



Ilustración 2: recepción del material



Ilustración 3: extensión de la plancha de chapa

Por medio de 4 estaciones diferentes se consigue la forma final, una caja que será el mueble de la lavadora. En la primera unidad se punzona perimetralmente, a continuación en las siguientes dos estaciones se da la embutición, corte y plegado mediante dos prensas hidráulicas. En la última operación se pliega el bastidor.



Ilustración 4: embutición



Ilustración 5: plegado



Ilustración 6: forma final de la caja

Por otro lado, se trabaja el panel frontal de la lavadora, que es la tapa que se le coloca delante al mueble para cerrar la caja. A este panel, tal y como se ha hecho con la parte trasera, se le da forma y se le hace un agujero, donde luego se colocará la puerta para meter la ropa. De esta forma queda terminada la caja exterior, siendo su producción de cuatro muebles por minuto.

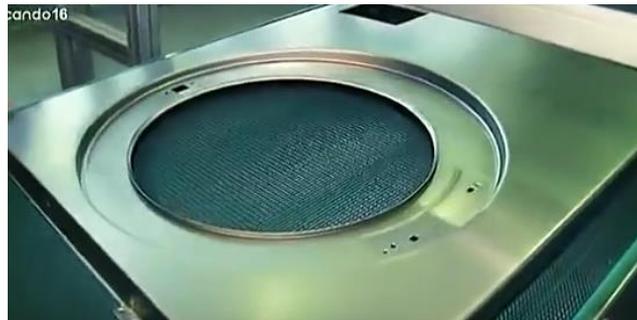


Ilustración 7: panel frontal

Mediante otro rollo, esta vez de acero inoxidable, se fabrica el tambor de la lavadora, el lugar donde se deposita la ropa. La guillotina corta la banda donde se harán una serie de agujeros, la banda plana se lleva a una mesa redonda donde se le da la forma circular y se sella.



Ilustración 8: desbobinado del acero inoxidable

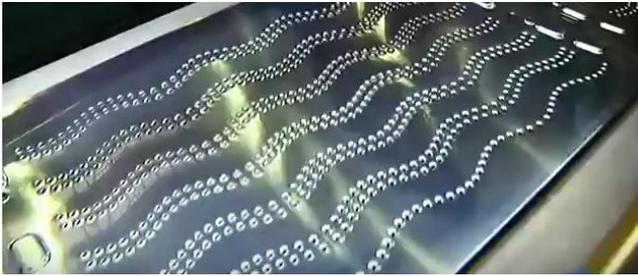


Ilustración 10: banda agujereada

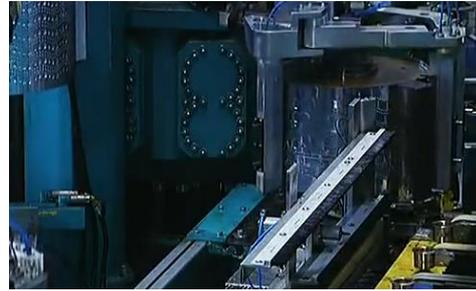


Ilustración 9: forma circular

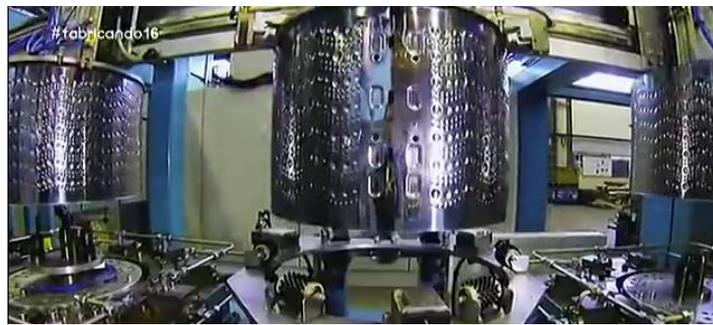


Ilustración 11: tambor sellado

El tambor dentro de sí lleva tres agitadores, son piezas de plástico que sirven para que no se apelmace la ropa en las paredes del tambor cuando este gira y además, permite la mezcla con el jabón y el agua. La forma de los agitadores está estudiada para poder hacer distintos tipos de lavados, como por ejemplo prendas más delicadas.

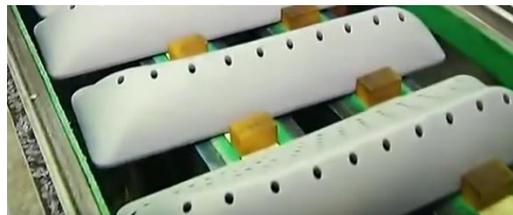


Ilustración 12: agitadores

El tambor atraviesa una isla donde, con una cámara, se le hacen fotografías para comprobar la calidad de la pieza. Si se da el caso de que algo no está bien colocado se detecta y dicho tambor se expulsa del proceso.



Ilustración 13: comprobación de tambor

El mueble de la lavadora llega a la línea, donde se colocan todas las piezas que compone la lavadora. Si se desea recubrir de color blanco el mueble deberá pasar por las operaciones de desengrase y fosfatado, posteriormente por un túnel de electrodeposición anódica y polimerización en horno para la primera capa de recubrimiento. A continuación, las piezas entran en el túnel de esmalte acrílico blanco, donde reciben la capa de acabado. Finalmente, este proceso termina con la cocción del mueble en el horno.



Ilustración 14: línea del mueble de la lavadora

El tambor se incorpora al proceso de producción, se comprueba que sea el tambor que le corresponde a esa máquina y mediante el manipulador se introduce en la parte trasera de la cuba, que es el contenedor del agua en el proceso de lavado. Después, se hace un premontaje del fuelle con la cuba delantera, que va a ser la tapa del contenedor del agua de la lavadora. Posteriormente se sueldan las dos partes del contenedor de agua para que sea totalmente estanco. Para ello, se hace uso de un robot que coloca las cubas en la zona de soldadura y se sueldan herméticamente.



Ilustración 16: unión del tambor y parte trasera de la lavadora



Ilustración 15: premontaje del fuelle

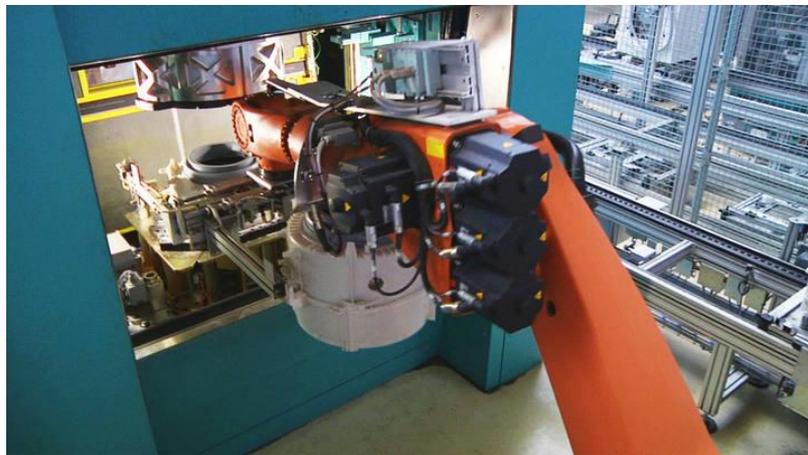


Ilustración 17: soldadura de las cubas

A continuación, se ensamblan los contrapesos a la cuba, para que tenga estabilidad. Para ello se usa un gato hidráulico. Cada lavadora lleva dos contrapesos, cada uno de unos 9 kilos. En el siguiente puesto se coloca el fuelle de salida del agua, por donde sale el agua al final del proceso de lavado o en el aclarado. El motor eléctrico se coloca en la cuba y posteriormente se coloca una correa que es la que transmite el movimiento desde el motor hasta el tambor. Para la comprobación de los componentes sean los adecuados un robot hace 18 fotos.

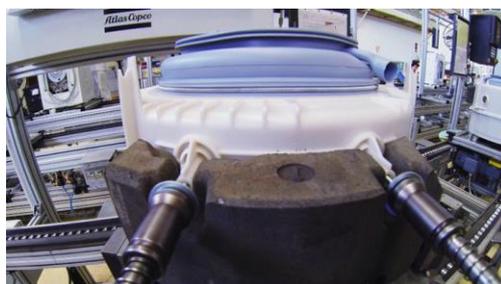


Ilustración 18: ensamblaje de contrapesos a la cuba



Ilustración 19: fuente de salida del agua



Ilustración 20: correa de transmisión del movimiento

Una vez completado el interior de la lavadora, el manipulador lo posiciona para insertarlo dentro del mueble de la lavadora.

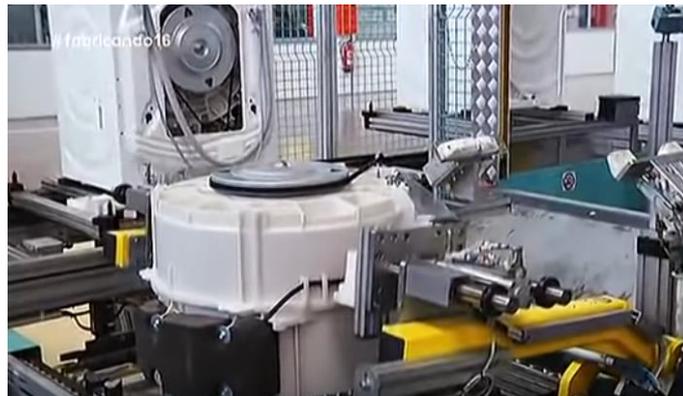


Ilustración 21: montaje en el mueble de la lavadora

Para el montaje de la electrónica se vale de una línea de montaje. Finalmente se coloca el cristal y la puerta de la lavadora. Tras someter a unas rigurosas pruebas ya está lista.



Ilustración 22: montaje de la electrónica



Todo este proceso se realiza en tan solo 35 minutos. (Antón, 2013)

En la siguiente imagen se muestra la estructura de la lavadora con sus diferentes componentes.

¿CÓMO FUNCIONA?

El motor eléctrico mueve el tambor de la lavadora y con ello produce la mezcla de agua y detergente con la ropa sucia.

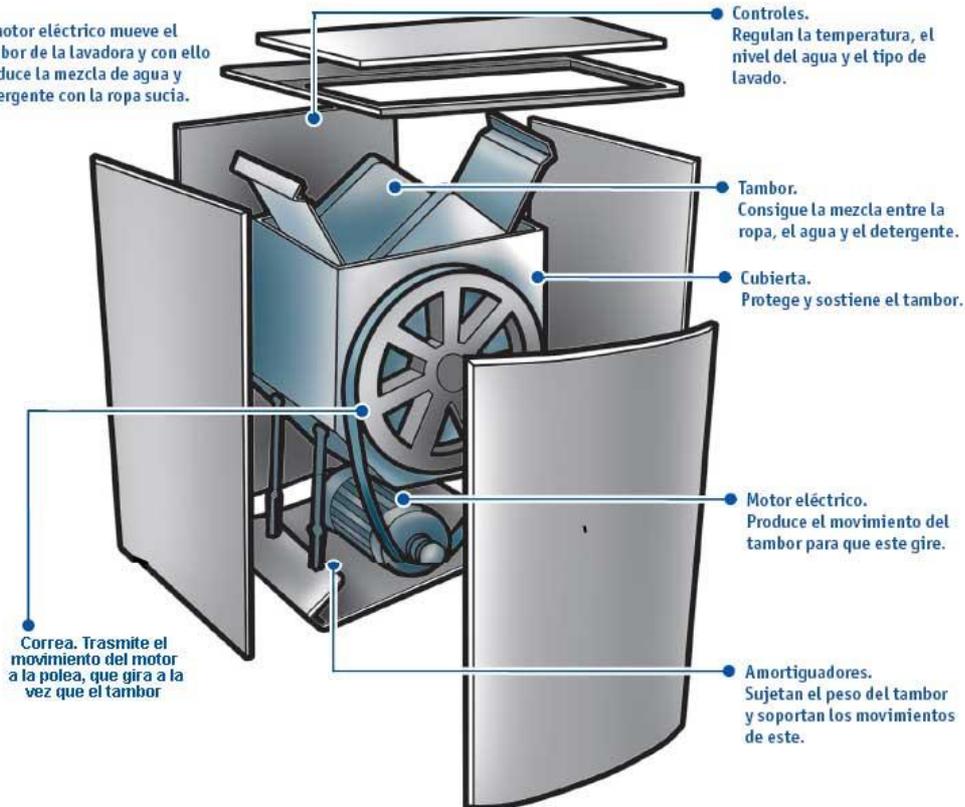


Ilustración 23: esquema de los componentes de la lavadora

4. PROPUESTAS DE MEJORA ENERGÉTICA

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, la fabricación de la lavadora requiere de una cantidad importante de energía eléctrica, siendo también necesaria la energía térmica para el tratamiento de recubrimiento de las placas exteriores.

Actualmente, en dicha planta el suministro de energía térmica y eléctrica no tienen relación alguna entre sí. Aprovechando la necesidad de ambas energías, se proponen las siguientes mejoras energéticas con el objetivo de reducir costes en la fabricación, salir al mercado con un precio más competitivo y por lo tanto aumentar los ingresos.

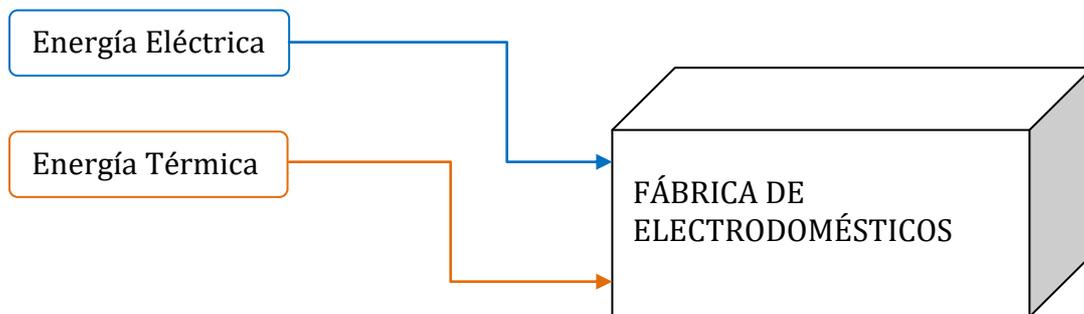


Ilustración 24: sistema actual de energía

4.1. COGENERACIÓN

La cogeneración es la producción conjunta de las energías eléctrica y térmica necesarias para el proceso a partir del mismo combustible. La energía térmica puede ser en forma de calor o de frío, en este proyecto siendo necesaria en forma de calor.

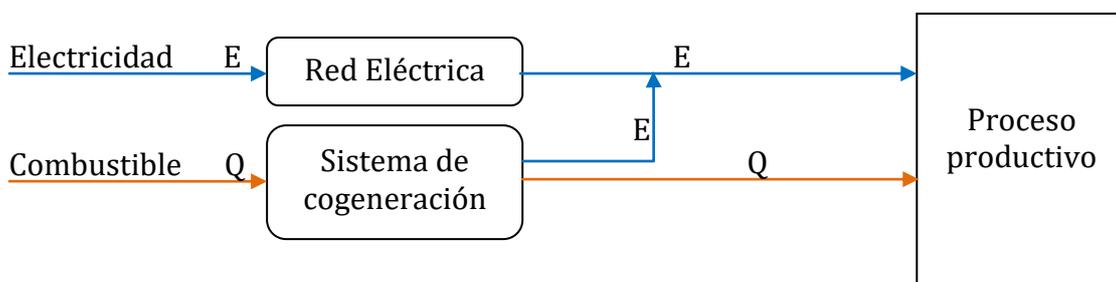


Ilustración 25: sistema energético con cogeneración

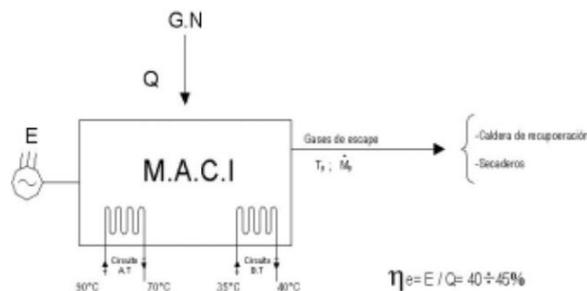


Para la implantación de un sistema de cogeneración han de cumplirse las siguientes condiciones:

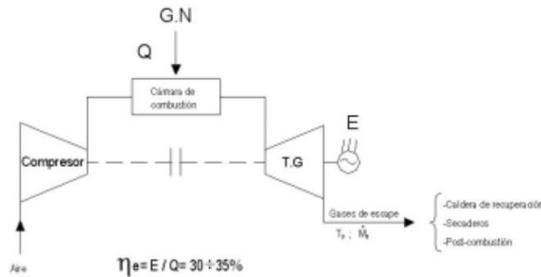
- Un consumo elevado de energía térmica.
- Las horas de producción anuales deben superar las 500h. Teniendo en cuenta que el año equivale a 8.760h y que en general la producción real se encuentra en torno a 8.000h/año, ya que es necesario realizar unas paradas para el mantenimiento de la planta, habitualmente se suelen superar las horas de producción anual sin ningún inconveniente.
- Disponibilidad del combustible elegido de forma continua y fiable. El cumplimiento de esta condición se puede complicar en función del combustible elegido. Entre los posibles combustibles que se utilizan para la cogeneración se encuentran el Gas Natural, Gas-oil, Propano, Fuel-oil y Biomasa. Teniendo en cuenta las directrices que se están aplicando para la transición energética, se puede decir que el combustible más conveniente es el Gas Natural ya que se encuentra repartido de una forma más homogénea que el Gas-oil, siendo más fiable. El inconveniente de la biomasa es su fiabilidad a largo plazo, dado que la cantidad de biomasa necesaria es elevada y obtener biomasa de unas propiedades exactas puede convertirse en un problema.
- Disponer de punto de conexión a la Red Eléctrica. Esta condición suele ser el mayor problema para implantar un sistema de cogeneración, ya que la R.E. es la que decide el punto de conexión que se deberá utilizar.
- Cumplir el Rendimiento Eléctrico Equivalente, R_{EE} .

La aplicación más sencilla y habitual de la cogeneración corresponde a uno de estos tres ciclos termodinámicos:

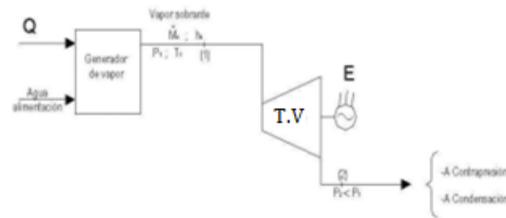
- Motores Alternativos de Combustión Interna



- Turbina de Gas



- Turbina de Vapor



Hay que tener en cuenta que la utilización de TV solo tiene sentido cuando el proceso productivo es exotérmico, por ejemplo ácido sulfúrico y ácido nítrico, o cuando la empresa tiene mucho residuo, es decir por encima de 70.000 t/año.

Las ventajas de implantar un sistema de cogeneración son diversas, cuales se pueden diferenciar en dos grupos: ventajas para la sociedad y ventajas para el empresario.

A continuación se analizarán las ventajas de la cogeneración para la sociedad.

- Diversificación energética. Como ya se ha comentado, la cogeneración permite el uso de diferentes combustibles, entre otros el GN, el cual se encuentra en diversos puntos del mundo.
- Menor dependencia exterior. Al producir electricidad y calor simultáneamente, la necesidad de suministro eléctrico disminuye.
- Ahorro de Energía debido al aumento de Rendimiento Energético. En la siguiente imagen se expresa de una forma resumida el beneficio de la producción conjunta de ambas energías. Como se puede observar, la eficiencia total de la producción separada se encuentra en torno al 68% mientras que con la cogeneración se alcanzan valores del 80%. Por lo tanto, queda claro que el máximo rendimiento

del conjunto de generación electricidad y calor es la cogeneración.

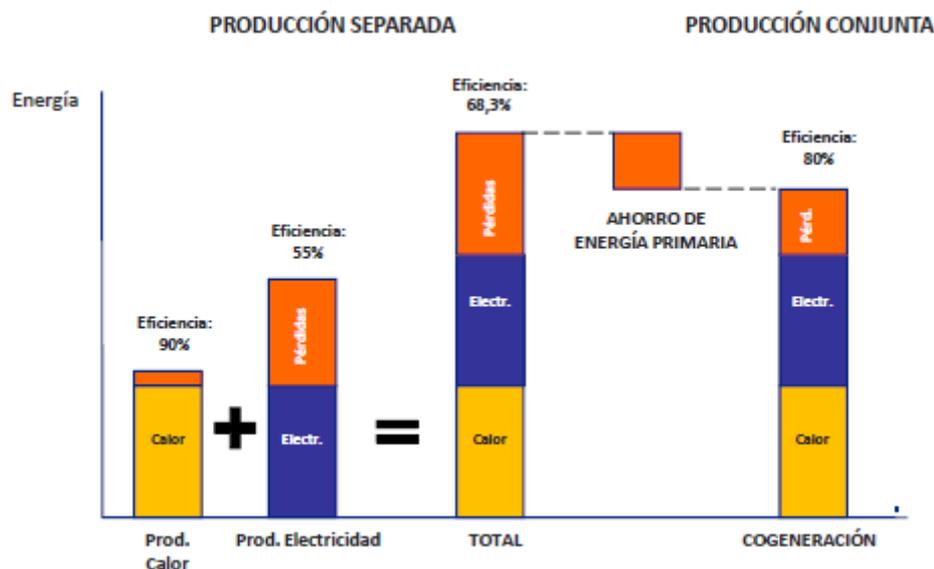


Ilustración 26: diferencia entre producción separada y continua (Argemí, 2010)

- Disminución del consumo de Energía Primaria. Al obtener un aumento del rendimiento energético disminuye el consumo de energía primaria necesaria para conseguir el mismo suministro, dado que las pérdidas ocasionadas serán menores.
- Mejora Medio Ambiental. La reducción de consumo de energía primaria conlleva consigo una reducción de las emisiones contaminantes, dado que hace falta quemar menos combustible para obtener la misma cantidad de energía.
- Disminución de las pérdidas en el transporte eléctrico. Puesto que parte de la electricidad producida se consumirá en la planta, las pérdidas ocasionadas en el suministro de dicha energía se convertirán nulas.
- Posibilidad de industrialización de zonas alejadas de la Red Eléctrica de Alta Tensión. La generación de energía eléctrica en la misma planta hace que no sea necesario situarse cerca de la Red Eléctrica de A.T. para posibilitar la producción.



Las ventajas principales para el empresario son las siguientes:

- Reducción de los costes energéticos. Como ya se ha comentado, la producción en conjunto de ambas energías hace que el rendimiento aumente por lo que el consumo de energía primaria disminuye, disminuyendo así los costes energéticos asociados a ellos.
- Mayor fiabilidad de suministro de energía.
- La cogeneración puede actuar como grupo de emergencia. En el caso de un corte de suministro eléctrico, mediante la cogeneración la planta sigue funcionando gracias a su propia energía.
- Mayor rendimiento energético en la Instalación.
- Posibilidad de aprovechar energías o combustibles residuales de la planta. Dependiendo del proceso productivo de la planta, puede darse el caso que un residuo de la planta sirva como combustible, ahorrándose de esta forma el tratamiento del residuo y los costes del combustible reemplazado.

Al igual que encontramos unas ventajas significativas, también ha de tenerse en cuenta que existen inconvenientes entre los cuales están:

- Inversiones elevadas. Esto se debe a que la tecnología es más costosa y compleja. Analizando la economía de la industria se puede tomar como valor orientativo que la inversión que conlleva cada megavatio es del millón de euros.
- Aumento de la mano de obra para atender la instalación de cogeneración. Teniendo en cuenta que la cogeneración está equipada con un MACI o TG el importe del mantenimiento aumenta.
- Inestabilidad legislativa. El constante cambio de gobierno acarrea constantes cambios de leyes, lo que cohibe al inversor a la hora de apostar por la cogeneración, ya que el tiempo de amortización es mayor que la del cambio de gobierno.
- Incertidumbre en la política de precios energéticos. La variación del precio de la energía primaria y la de la electricidad afectan directamente a los costes y beneficios de la empresa. Ya que puede darse el caso que el importe de la energía primaria sea mayor que el de la



electricidad, es decir, salga más caro producir electricidad que comprarla. Esto se debe a que el precio de la electricidad varía dependiendo la oferta y demanda que tenga.

Las plantas de cogeneración deben diseñarse y dimensionarse para satisfacer la demanda térmica de la fábrica suministrando como máximo la energía térmica necesaria. Hay que tener en cuenta que la red eléctrica actúa como "comodín".

Dado que la energía térmica se obtiene a partir de la potencia eléctrica instalada, MACI o TG en la mayoría de los casos, es sumamente complicado alcanzar la cantidad exacta necesaria.

En el caso de no conseguir satisfacer totalmente la demanda térmica es mejor quedarse por debajo, ya que se tiene la opción de mantener la caldera de antes para compensar la energía térmica necesaria. En caso contrario, si se eligiese la opción de obtener más potencia eléctrica, se estaría desperdiciando la energía térmica restante, dado que el aprovechamiento de la energía térmica es muy complicado salvo que se utilice en el mismo proceso. Más aún, a pesar de existir junto a dicha fábrica un proceso productivo en el cual sea necesaria la energía térmica, su utilización no sería rentable ya que las pérdidas de calor son muy elevadas en comparación con las de electricidad.

Actualmente hay un mercado relativamente amplio de motores alternativos de combustión interna, en el cual encontramos más de diez distintos distribuidores, como por ejemplo Rolls-Royce o Wärtsilä que fabrican motores de hasta 8 MWe de potencia. En el caso de las turbinas de gas, el mercado es más limitado por la escasez de fabricantes. Por el contrario, en este caso el rango de potencia es mayor pudiéndose encontrar TG desde 5 MWe hasta 250 MWe. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para potencias menores de 20 MWe la competencia de los MACI es considerable, dado que en ese entorno los modelos de TG son muy escasos y la inversión por ratio de potencia es muy elevada.

Asimismo, también se deben considerar otras características que afectarían a la elección de la máquina, como son el espacio requerido para la instalación de la máquina y el espacio útil de la planta, los costes de mantenimiento, el ruido ocasionado, la versatilidad que ofrece. Por lo tanto, se debe realizar un estudio laborioso para una buena elección de la máquina motriz.



4.2. ENERGÍAS RENOVABLES

Todas las energías renovables tienen en común que provienen de una fuente natural, siendo su generación, de forma directa o indirecta, a partir de la acción de la radiación solar.

4.2.1. BIOMASA

La definición de la biomasa se fundamenta en un proceso biológico espontáneo o provocado que origina materia orgánica, la cual es utilizada como fuente energética. Dicha materia orgánica puede ser tanto de origen animal o vegetal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos. El proceso de formación de biomasa a partir de la energía radiante del sol se lleva a cabo a través de la fotosíntesis, siendo su resultado grandes moléculas de alto contenido energético en forma de energía química.

La biomasa se puede clasificar de una forma resumida en tres grandes grupos:

- Biomasa natural: se produce en ecosistemas naturales sin la intervención humana.
- Biomasa residual: Corresponde a la generada a partir de actividades humanas, destacando los subproductos de las industrias papeleras, forestales, agrícolas, ganaderas, etc. La eliminación de dichos residuos suele suponer un problema, siendo su conversión en un recurso para crear combustible sostenible una muy buena opción, dado que además de poder aprovecharse energéticamente contribuye al cuidado de las zonas el que se producen. Dentro de este grupo también se encuentran los sólidos urbanos, lodos de depuradoras de aguas residuales, etc. (Combustibles Aragón, 2016)
- Cultivos energéticos: Este tipo de biomasa se produce con el único objeto de ser transformada en energía. La característica principal de dichos cultivos son el elevado poder calorífico, la oportunidad del control de la producción y por lo tanto su disponibilidad a largo plazo.

La combustión de biomasa sirve para obtener Energía Térmica (Calor) o Energía Eléctrica.

- El Calor se obtiene directamente de la caldera de combustión de biomasa
- La Energía Eléctrica se obtiene mediante un Ciclo de Rankine

Al generar vapor sobrecalentado (a alta presión y temperatura) y expansionarlo en una T.V. para la obtención de Energía Eléctrica a partir de la biomasa, ésta adquiere un gran valor añadido.



Ilustración 27: central térmica de biomasa (Residuos profesional, 2017)

Este proceso tiene como origen el Ciclo de Rankine. Por lo que se requiere de la construcción de una Central Térmica, es decir, instalaciones complejas y caras con unos rendimientos inferiores al 35%.

Los residuos que se pueden utilizar como combustible son muchos y muy variados:

- Residuos de poda árboles y tratamientos silvícolas
- Residuos de poda de jardines
- Residuos de labores agrícolas
- Orujo de uva
- Orujillo de aceituna
- Astillas procedentes de la industria de la madera
- Cáscaras de almendra y de otros



Ilustración 28: combustibles para biomasa



Lo que hace que la biomasa sea una sustancia enormemente heterogénea, tanto en su análisis físico como en el análisis químico. La diferencia que hay entre las distintas biomásas se debe principalmente al PCI, humedad, granulometría... Esto hace que las calderas no suelen ser útiles para quemar multiproducto; los fabricantes de las calderas dirán que tipos de biomásas se pueden quemar simultáneamente y en qué proporciones, surgiéndose así el problema de la combustión de multiproductos cuando no se tiene suficiente cantidad de un único tipo de biomasa que se pueda asegurar durante toda la vida útil de la central.

La disposición de una amplia zona de almacenaje para la biomasa durante un periodo de seguridad de 3 o 4 meses es uno de los puntos importantes a tener en cuenta si no se dispone de un gestor que vaya abasteciendo de biomasa progresivamente. La superficie necesaria para el almacenamiento suele ser enorme y supone un coste en obra civil muy grande dentro de la inversión total de la planta.

Los combustibles sólidos tienen un problema de gestión que los combustibles líquidos y gaseosos no tienen. En especial ese problema de gestión se da en la biomasa. La gestión de la biomasa encarece mucho la construcción y la explotación de una planta. Dicha gestión consiste en los siguientes procesos:

- Obtención de la materia prima a partir de la poda de los árboles y limpieza del bosque.
- Transporte de la biomasa. Evaluando la variación de combustibles anteriormente citados, el transporte será mejor con residuos forestales que de orujillos del aceite.
- Trituración para obtener el tamaño requerido por la caldera (10-15 cm). Se puede triturar en el origen o en almacenamiento general, en todo caso hay que tener en cuenta que el proceso de trituración no es gratuito, ya que se consume bastante energía en la molienda.
- Almacenamiento de la biomasa en el almacén general y/o almacén nodriza, es decir, almacén de diario que es de un tamaño menor, cubierto y con transporte automático a la caldera.
- Transporte desde el almacén general al almacén nodriza y hasta la alimentación a la caldera.

Como se ha comentado, la situación de partida para conseguir la materia prima generalmente suele ser de bosques escarpados, densos y sucios, del cual se debe obtener una biomasa limpia y homogénea para abastecer la caldera. Para la realización de este proceso se necesita mano de obra en abundancia, al igual que una maquinaria especializada y cara.



Ilustración 29: procesos de la gestión de biomasa



La Biomasa ha sido el principal combustible renovable que el ser humano utilizaba para diversas funciones. A pesar de la llegada de los combustibles fósiles se ha mantenido su utilización, y con el encarecimiento de los combustibles fósiles y la preocupación por el cambio climático entre otras cosas, actualmente está siendo la energía renovable con mayor potencial de crecimiento. La biomasa es la energía renovable más utilizada en la Unión Europea, siendo su representación más del 61% según la Asociación Europea de la Biomasa (EP, 2018). Por tanto queda claro que posee varias ventajas:

- Es una energía de origen renovable
- Diversificación energética
- Contribuye a la independencia energética
- Reduce de las emisiones de CO₂
- Impulsa el desarrollo tecnológico
- Crea empleo en diversos sectores
- Valoriza los residuos que suponen un problema medioambiental muy grave (purines, lodos de depuradora, R.S.U., etc.)
- Colabora con la limpieza forestal al utilizar los residuos forestales como combustible, reduciendo el riesgo de incendios forestales y de plagas

Pero también acarrea una serie de inconvenientes que obstaculizan su desarrollo y que son la clave para entender la razón de su "estancamiento" como Energía Renovable.

- Tiene un Poder Calorífico considerablemente inferior al de los combustibles convencionales (Gas Natural, Gas-oil, Fuel-oil)
- La gestión en su globalidad es muy cara
- Es muy difícil asegurar su abastecimiento a largo plazo (> 10 años)
- Inestabilidad del precio de compra de la biomasa
- Inestabilidad legislativa
- Se requiere de una tecnología muy cara y con bajos rendimientos energéticos para la generación de Energía Eléctrica a partir de biomasa, lo que hace que deba ser primada considerablemente. (De la Peña, 2017)



4.2.2. SOLAR TÉRMICA

Las centrales termosolares son instalaciones en las cuales se concentra la energía solar térmica a través de espejos para calentar un fluido caloportador que impulsa una T.V. y mediante un generador acoplado se genera electricidad. Los ciclos termodinámicos en los que se basan las centrales termosolares son el de Rankine, Brayton y Stirling.

A pesar de que la historia moderna de la tecnología termosolar tiene su inicio en los años 70 por la crisis del petróleo, en 1913 ya se había desarrollado la primera estación termosolar de bombeo. (López)

El parámetro principal de estos sistemas es el factor de concentración: un factor más alto equivale a una temperatura alcanzable más alta. Por lo que es conveniente mantener la correcta orientación hacia el sol para poder absorber la máxima energía.

Se diferencian dos tipos de sistemas: sistemas de concentración puntual que utilizan dos ejes para seguir el movimiento del sol y sistemas de concentración lineal que solamente tiene uno. Por lo que es primordial el estudio de la orientación en la que se instalarán. La clasificación de las diversas tecnologías según el tipo de sistema es la siguiente:

- Sistema lineal: Colectores Cilindro Parabólico y Espejos Fresnel
- Sistema puntual: Torre Central y Disco Stirling

Colector Cilindro Parabólico

La mayoría de las plantas termosolares del mundo corresponden a esta tecnología. Lo que hace que actualmente sea una tecnología madura con una capacidad de horas de funcionamiento elevada.

El campo solar lo constituyen filas paralelas de colectores cilindro parabólicos, pudiendo cada fila albergar varios colectores conectados en serie. Los espejos que componen el colector reflejan la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola. En consecuencia, se produce un calentamiento del fluido que circula por el interior del tubo receptor, que pueden ser hasta temperaturas del orden de 400°C, posibilitando su almacenamiento en sales fundidas por ejemplo.

Al principio se utilizaba agua como fluido térmico pero su punto de vaporización dependía de la estación (invierno/verano). Por lo que ahora se utiliza aceite térmico, fluido que no vaporiza optimizando así la transferencia de calor del sol. Sin embargo, para vaporizar el agua para turbinar hace falta un intercambiador de calor que transmita la energía térmica del

aceite térmico al agua. Además, el fluido térmico atraviesa el campo solar siendo esto una complejidad. La necesidad de separaciones grandes entre las filas de espejos hace que el campo solar sea inmenso por lo que la limpieza de los espejos es más costosa. También hay que tener en cuenta que dicha agua empleada para la limpieza de los espejos hay que tratarla, lo que conlleva una problemática.



Ilustración 30: Colector Cilindro Parabólico

Fresnel

Los colectores Fresnel, al igual que los CCP, concentran la radiación solar incidente sobre unos espejos planos en la línea focal. En este caso se emplea directamente el vapor de agua obtenido en el campo solar para la generación de electricidad, simplificando así la instalación.

Es una tecnología barata, dado que los espejos son planos y se emplea un ciclo Rankine simple para la generación de electricidad. Además la separación entre espejos es menor lo que conlleva un menor requerimiento de espacio.

Sin embargo, las simplificaciones en el ciclo de Rankine hacen que el rendimiento de la instalación sea menor. Además, al utilizar agua como fluido caloportador hay que tener especial atención con el tratamiento de agua. Debido a que los espejos tienen un factor de concentración menor, las temperaturas que el fluido alcanza son menores que en los CCP (sobre unos 270°C), lo que no hace posible su almacenamiento.



Ilustración 31: espejos Fresnel



Torre Central

El sistema de torre central se basa en un campo de heliostatos (espejos) que siguen la posición del sol en todo momento y orientan el rayo reflejado hacia el foco colocado en la parte superior de una torre.

Los heliostatos están situados de manera específica, girando continuamente sobre dos ejes para seguir el movimiento del sol y para reflejar la luz solar y concentrar el máximo de radiación en un punto determinado por el receptor, pudiéndose alcanzar temperaturas de hasta 1.000°C.



Ilustración 32: torre central

Una de las principales ventajas de este tipo de plantas son sus espejos planos y baratos que además necesitan un menor espacio entre los heliostatos. También nos encontramos con que el fluido no atraviesa el campo solar, simplificando así la instalación. Ha de mencionarse que teóricamente existe la posibilidad de almacenamiento pero no se suele hacer porque está poco desarrollado y es muy caro.

El gran inconveniente de este tipo de plantas es la necesidad de construirse en una zona plana y con muchas horas de radiación solar al año. Esto nos lleva a que 20 MW sea un límite práctico de la máxima potencia a obtener, dado que al aumentar el campo solar la eficacia con la que los rayos reflejen en la torre disminuye notablemente, disminuyendo el rendimiento. Además, se necesita disponer de fuentes de agua próximas y de canales de distribución de la energía producida.

Disco Stirling

El sistema de Disco Stirling se basa en la generación eléctrica mediante un motor Stirling, que se lucra de la energía concentrada a través del disco parabólico. El funcionamiento del motor Stirling se fundamenta en la expansión y compresión de un gas, por lo que son necesarios un foco caliente donde se expande

y otro frío donde se contrae. Para obtener la mayor concentración solar, la unidad tiene un seguimiento continuo del Sol mediante dos ejes durante todo el día, que permite calentar el gas del motor a temperaturas en torno a 650°C.

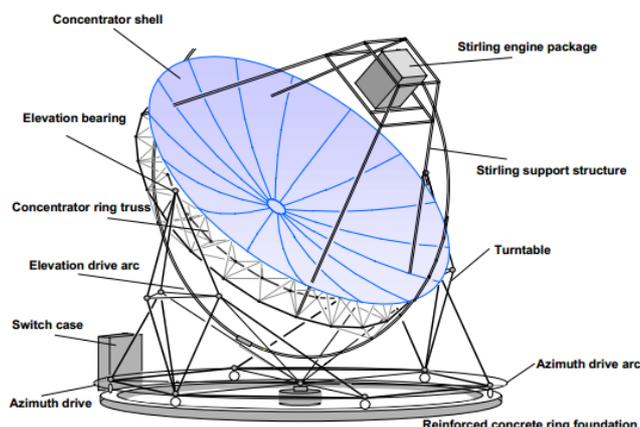


Ilustración 33: disco Stirling

Nos encontramos con la ventaja de que son módulos independientes, lo que los hace adecuados para instalaciones individuales y aplicaciones descentralizadas. Además apenas produce ruido, ya que no hay ningún tipo de combustión interna y tampoco hay fluido circulando por el campo solar. Este tipo de sistemas tienen el gran inconveniente de no poder almacenar la energía generada. El mantenimiento es otro aspecto importante: el concentrador parabólico debe ser limpiado continuamente y debe pasar revisiones mecánicas periódicas para asegurar el buen funcionamiento del sistema. Además, todavía es una tecnología inmadura, lo que hace que sea bastante cara y su construcción es compleja, siendo su capacidad modular entre 5 y 25 kW, consiguiéndose este último valor en un ensayo. Finalmente, para poder competir con el resto de tecnologías son necesarias un número muy elevado de módulos y grandes requerimientos de espacio.

4.2.3. SOLAR FOTOVOLTAICA

Los sistemas de energía solar fotovoltaica transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica. Para ello hacen uso de las propiedades de los materiales semiconductores como es el silicio, que son la base de las células fotovoltaicas. La radiación solar, que está compuesta por

fotones, al incidir en las células fotovoltaicas genera una corriente eléctrica que es aprovechada como energía eléctrica.

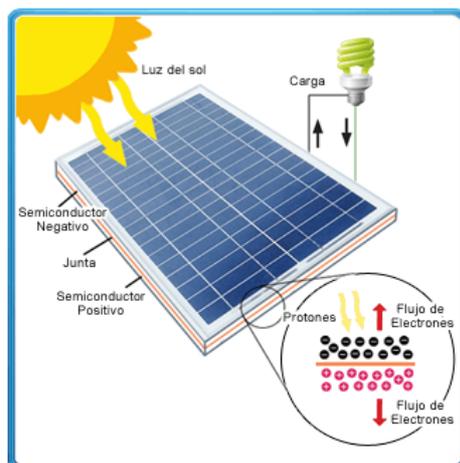


Ilustración 34: panel solar fotovoltaico

La luz solar está compuesta por diferentes gamas de frecuencia pero los paneles fotovoltaicos solamente pueden generar electricidad a partir de una gama concreta de frecuencias. Por lo que mucha de la luz solar no es aprovechada, siendo la eficiencia de los módulos entorno del 21,5%. (Energía solar)

La tecnología fotovoltaica se empleó inicialmente para suministrar de electricidad los satélites. En la década de los 50, Según APPA, fue cuando se empezaron a emplear como sustitución de los combustibles fósiles. (APPA, s.f.)

Dicha tecnología tiene la gran ventaja de su aspecto modular, pudiéndose instalar creando grandes plantas fotovoltaicas en suelo o, por el contrario, pequeños paneles en tejados. Además, la energía eléctrica generada es inagotable y no contamina, convirtiéndose un combustible gratuito de por vida una vez instalado el sistema. El aprovechamiento de la electricidad generada puede darse de diferentes maneras: vendiéndola a la red eléctrica o autoconsumiéndola. Por lo que es un sistema adecuado para zonas aisladas de la red eléctrica o zonas de muchas horas de sol.

Según la información recabada por la empresa Acciona, el precio de los paneles fotovoltaicos ha ido disminuyendo notablemente desde la década de los 80, rondando el 10% por año. Por lo que, si continúa dicha tendencia, se calcula que para 2027 sería posible dar servicio al 20% de las necesidades energéticas globales mediante esta tecnología. (Acciona, s.f.)

4.2.4. GEOTERMIA

La geotermia utiliza la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra para calentar el hogar en invierno, refrigerarlo en verano y producir ACS. Dicha energía almacenada bajo la tierra tiene diferentes orígenes, entre los cuales se encuentra el calor residual de cuando se formó el planeta, la radiación solar y la desintegración radiactiva. (ingeka)

En el siguiente gráfico podemos observar el cambio de temperatura de la tierra en las cuatro estaciones del año desde la superficie hasta una profundidad de unos 20m, donde se considera que la temperatura se mantiene constante, algo superior a la media anual de la superficie (en España se considera una temperatura de 15°C).

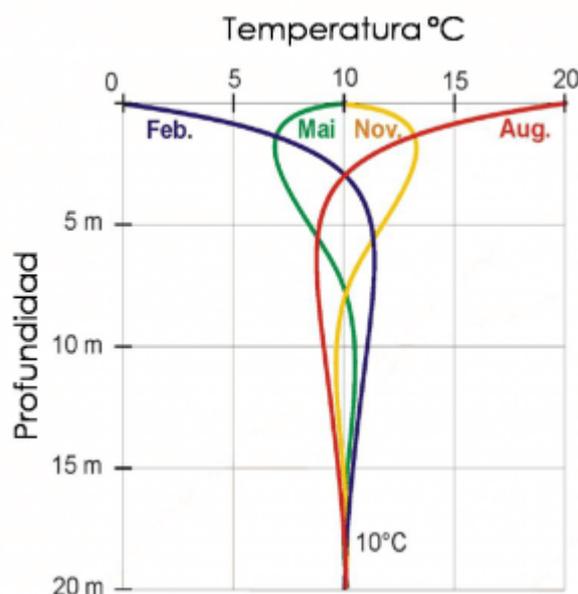


Ilustración 35: variación de la temperatura según la profundidad

Analizando a más profundidad, la temperatura aumenta en torno a 3°C por cada 100m de descenso. Esto se debe a que cuanto más se profundiza, el efecto del calor residual del planeta es mayor, quedándose en un segundo plano la radiación solar. Es el efecto contrario de lo que ocurre en los primeros metros de profundidad, donde la fuente de energía primordial es el sol. (Rivas, 2019)

La transformación de la energía almacenada se basa en diferentes sistemas de captación que realizan intercambio de calor con el terreno, pudiendo usarse como foco caliente el suelo, rocas y

aguas subterráneas. Para ello es importante poseer un salto térmico entre el foco caliente y el fluido caloportador utilizado.

Los sistemas de captación de energía geotérmica se pueden diferenciar en 3 tipos:

- Captación geotérmica horizontal cerrada

Consiste en instalar una red de tuberías de polietileno a una profundidad de entre 0,6 y 1,5m, las cuales se encuentran conectadas entre sí formando un circuito cerrado por el que circula agua con glicol que tiene la función de fluido caloportador. De esta forma se recoge el calor acumulado en la tierra, especialmente de la energía del sol (Rivas, 2019). Dado que el clima tiene especial influencia en la temperatura a dicha profundidad, la superficie a utilizar para poder abastecer las necesidades de una vivienda es considerable, por ejemplo para unas necesidades de 10 kW de potencia térmica serían necesarios unos 400 m² de terreno. (enertres)

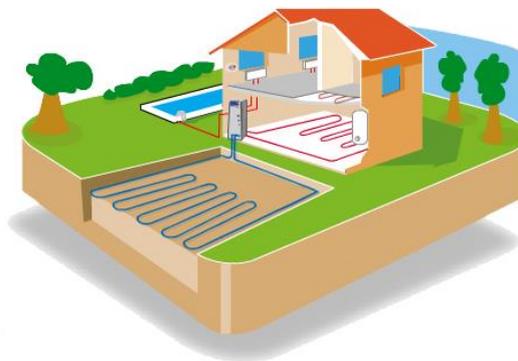


Ilustración 36: circuito de captación geotérmica horizontal

- Captación geotérmica vertical cerrada

Consiste en instalar las tuberías con una vida útil mayor que 50 años, en este caso en posición vertical en el interior de una o varias perforaciones. La profundidad de dichas perforaciones puede ser desde 25 m hasta 150 m, dependiendo de las necesidades de la vivienda, con solo un diámetro de unos 15 cm. Como en el caso anterior, el fluido caloportador se recircula por el interior de la tubería mientras que intercambia el calor con el terreno. Al utilizar los captadores en una profundidad mayor, la

energía intercambiada proviene prácticamente del calor residual del planeta.

La razón principal para la elección de este tipo de sistema de captación es la falta de superficie para ejecutar el sistema anterior. Además, también tiene la posibilidad de abastecer mayores demandas energéticas, ya que proporciona una gran estabilidad de la temperatura (Rivas, 2019). Por ejemplo, para una bomba de calor de 10 kW sería necesario un sondeo de una profundidad de 135 m. (enertres)

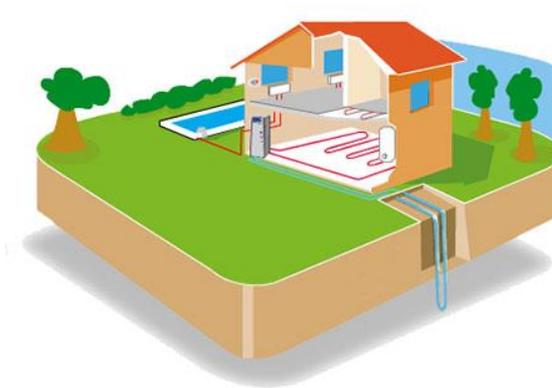


Ilustración 37: circuito de captación geotérmica vertical

En casos en los que por razones de cimentación y poca resistencia del terreno se necesitan instalar pilotes, es posible aprovechar dichos elementos para la captación de la energía geotérmica instalando las sondas en las armaduras. La gran ventaja de aprovechar los pilotes para el intercambio de calor es que de esta forma no es necesario realizar perforaciones exclusivas para la instalación de las tuberías. (Rivas, 2019)

- Captación de circuito abierto

Consiste en aprovechar el agua subterránea como líquido refrigerante, intercambiando su calor a través de la bomba de calor y devolviéndola al acuífero por medio de otra perforación, quedando así abierto el circuito del líquido refrigerante. La temperatura del agua subterránea se mantiene prácticamente a la misma temperatura durante todo el año, siendo así una fuente ideal de calor (enertres). Pero tiene la desventaja de la necesidad de una bomba hidráulica de una gran potencia para asegurar suficiente

caudal. Por lo que el consumo eléctrico de la bomba será considerable disminuyendo la eficacia de sistema en comparación con los sistemas anteriormente mencionados (Rivas, 2019). Por ejemplo, para unas necesidades de 10 kW se necesitarían unos 3.000 l/h de agua subterránea. (enertres)

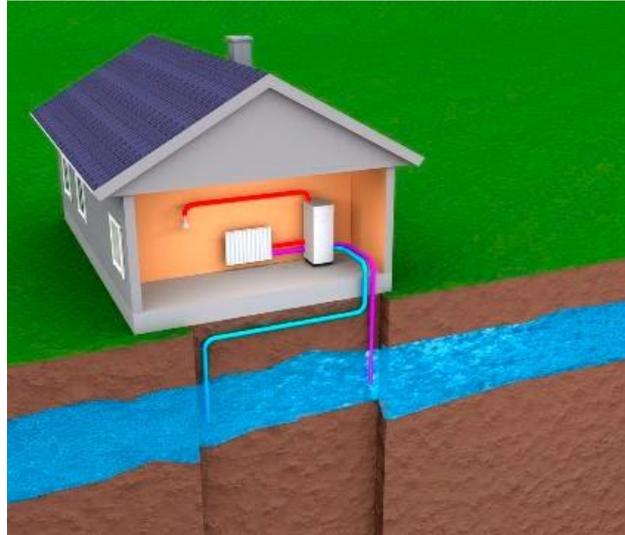


Ilustración 38: captación de circuito abierto

Una vez analizados los diferentes tipos de sistemas de captación se procede a la explicación del sistema general, el cual está formado por tres partes fundamentales.

Por una parte tenemos los captadores que se encuentran en el exterior de la vivienda, como ya se ha explicado.

Por otro lado tenemos el emisor, el cual se encarga de cubrir las necesidades de calefacción, refrigeración y ACS. Nos encontramos con 3 tipos de emisores: suelo radiante, radiadores y Fancoils. No se recomienda la utilización de radiadores ya que se el agua que circula por el sistema debe estar en torno a 85°C, una temperatura elevada comparando con el necesario para el suelo radiante que se encuentra alrededor de 35°C. Los Fancoils calientan o refrigeran rápidamente la vivienda impulsando aire caliente o frío. Pero tienen la desventaja del disconfort que producen las corrientes de aire. El suelo radiante en cambio, no emite ninguna corriente de aire, ofreciendo diversas ventajas como un nivel alto de confort, beneficioso para personas con alergias, asma, etc., no reseca el ambiente y tiene la opción de trabajar de forma inversa refrescando el hogar. Por estas razones y muchas más la Organización Mundial de la Salud recomienda el suelo radiante. (ingeka)

En la siguiente imagen podemos observar la forma de calentar la vivienda de cada sistema, siendo el suelo radiante el que más confort proporciona.

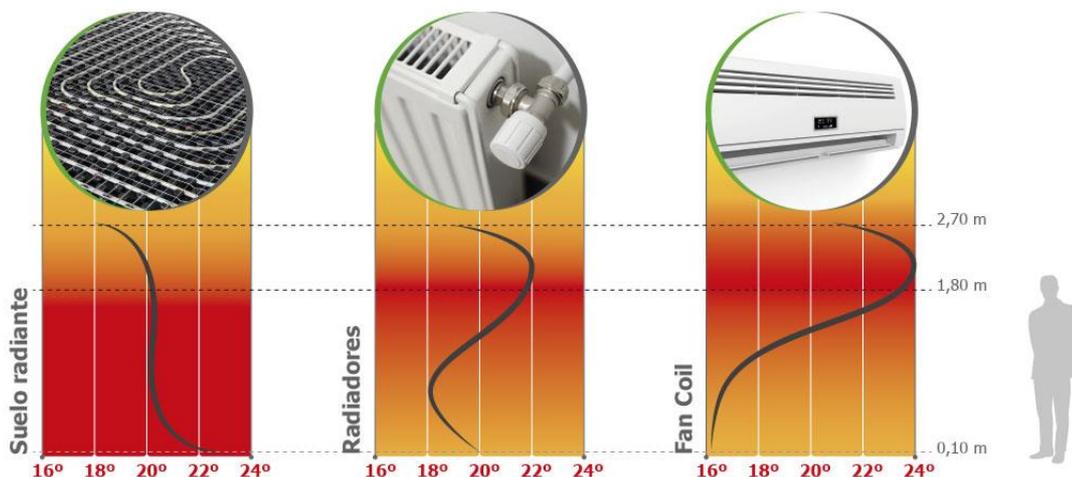


Ilustración 39: diferentes tipos de sistemas emisores

Por último, para finalizar el sistema general es necesario un equipo que permita absorber la energía captada del foco caliente y cederla al foco frío. Es decir, se necesita de un equipo que una los dos circuitos anteriormente explicados, el cual se denomina bomba de calor. Su funcionamiento es similar al de un frigorífico pero a la inversa. Es decir, es un equipo térmico que utiliza el ciclo cerrado de un refrigerante para absorber el calor de un foco caliente y cede a un foco frío.

Como se puede observar en la siguiente ilustración, la bomba de calor contiene tres circuitos diferentes, el del fluido absorbedor, el del refrigerante y el del fluido emisor. El fluido absorbedor circula por la tubería 1 y en el evaporador le cede su calor al refrigerante, volviendo más frío. El refrigerante que se encuentra en estado líquido a una baja presión en el evaporador, mediante el calor cedido por el fluido caloportador se evapora y una vez evaporado totalmente se comprime mediante el compresor, para después ceder su calor en el condensador al circuito de calefacción y volver a estar en estado líquido pero a una mayor presión. El líquido del circuito de calefacción se calienta en el condensador y cede su calor mediante el sistema emisor escogido. El refrigerante llega totalmente condensado al final del condensador donde se expande hasta la presión del evaporador para volver a empezar el ciclo. (ingeka)

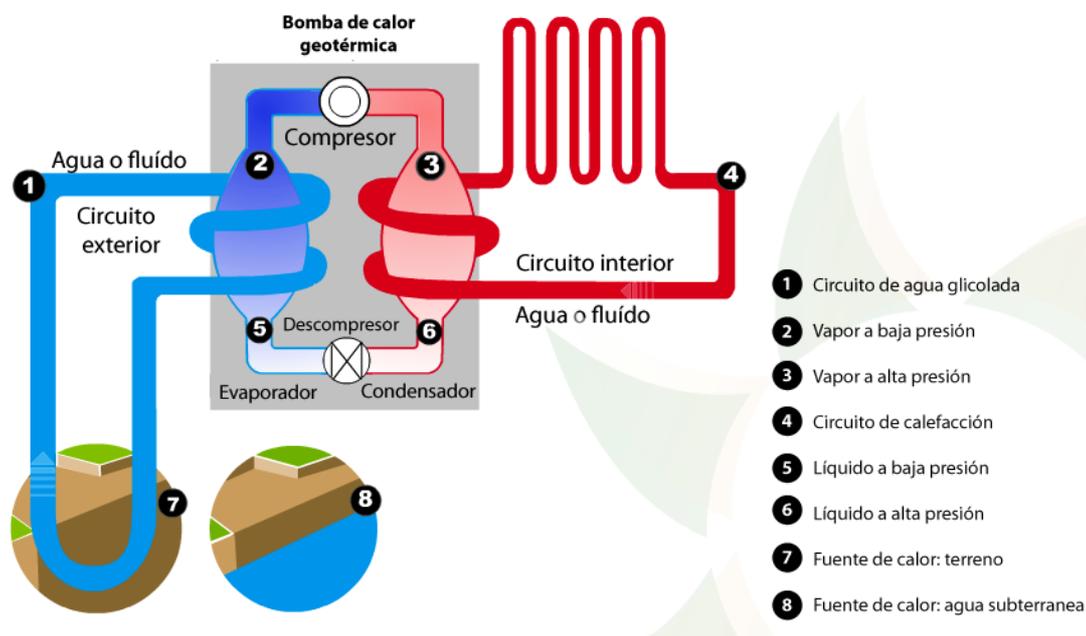


Ilustración 40: esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica

En resumen, mediante la energía geotérmica disponemos de una energía renovable continua durante todo el año en cualquier lugar del mundo, donde únicamente tendremos el consumo de la bomba del fluido caloportador y del compresor. De todas formas, es necesario tener varios puntos a considerar, como el elevado coste inicial para el caso de captación vertical, periodos de amortización medios-altos (entre 5-7 años), la necesidad de un estudio de viabilidad económica y dependiendo de la instalación un estudio geotécnico. (Rivas, 2019)



5. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Una vez realizado el estudio de las distintas alternativas planteadas para implantar una mejora energética en una fábrica de electrodomésticos, queda claro que la que mejor se adecua es la cogeneración. Mediante la cogeneración se aprovecha el calor residual de la generación de energía como energía útil en la planta de producción. Por lo que, limitando la necesidad de energía térmica para la fabricación de las lavadoras, conseguiremos ahorrar parte de la energía eléctrica que se consume de la Red Eléctrica.

El gran inconveniente de las energías renovables es la imposibilidad de obtener la cantidad necesaria de energía de forma continua, forma en la que es necesaria en una planta de producción.

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, implantando una instalación de biomasa se puede obtener electricidad pero la inversión y el espacio requerido no compensan al ahorro que se obtendrá. En el caso de la solar térmica ocurre algo similar, el área necesaria del campo solar es desproporcional para una fábrica de electrodomésticos. Mediante la solar fotovoltaica se puede obtener electricidad pero habría que hacer un estudio de viabilidad, dado que según la ubicación de la fábrica puede no ser suficientemente eficaz. Además, la cantidad que se obtendría no abastecería las necesidades de la planta. Por último, mediante la geotermia no se conseguiría la suficiente temperatura para el tratamiento de recubrimiento de los electrodomésticos.



6. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Con la implantación del sistema de cogeneración se quiere hacer frente a las necesidades térmicas que tiene una fábrica de electrodomésticos para el tintado de las lavadoras. Para ello, se hace uso de un horno de convección, horno diseñado específicamente para el tamaño de piezas a introducir que sirve para el curado de piezas metálicas alcanzando las temperaturas específicas idóneas para acelerar el secado.

Este tipo de hornos son muy utilizados tanto en la industria de electrodomésticos como en la industria automovilística, metalúrgica, etc. Su utilización se basa en la necesidad de pintar y acelerar el proceso de secado que tienen este tipo de industrias, consiguiendo un acabado excelente a través de la convección mediante la recirculación de aire.

La temperatura necesaria varía dependiendo el tipo de pintura a utilizar. Se pueden diferenciar las pinturas líquidas, que son las que tienen una base de disolvente o agua, así como los alquídicos, vinílicos y acrílicos realizando su secado entre 60°C y 150°C y por otro lado las pinturas en polvo como poliéster, epóxidos o híbridos que necesitan una mayor temperatura, entre 170°C y 210°C. La temperatura deseada se suele obtener a través de la circulación forzada de aire caliente, que se consigue mediante electricidad, diésel o gas.

Los hornos de convección se pueden dividir en dos grandes grupos, los hornos que trabajan de forma cerrada o los de tipo túnel. La elección del grupo depende del tipo de producción, siendo el sistema de horneado continuo el idóneo para el tintado de electrodomésticos, dado que se trabaja en cadena y con grandes producciones. (El Equipo de Marketing, 2018)



Ilustración 41: horno de convección

Las condiciones necesarias para dicho proceso se establecen en un caudal de aire seco de 8,16 t/h, lo que supone 2,27 kg/s a una temperatura de 210°C, coincidiendo la disponibilidad de la planta con las horas de funcionamiento de la fábrica de 8.000 h anuales.

Como ya se ha dicho anteriormente, disponemos de distintas alternativas dentro de la opción de implantar un sistema de cogeneración. Por lo que nos decidiremos en instalar una TG o MACI dependiendo la potencia térmica necesaria de la planta.

Al necesitar un caudal de aire caliente como fuente de energía para el proceso no es necesaria una gran cantidad de energía térmica, por lo que elegiremos un MACI como equipo de cogeneración.

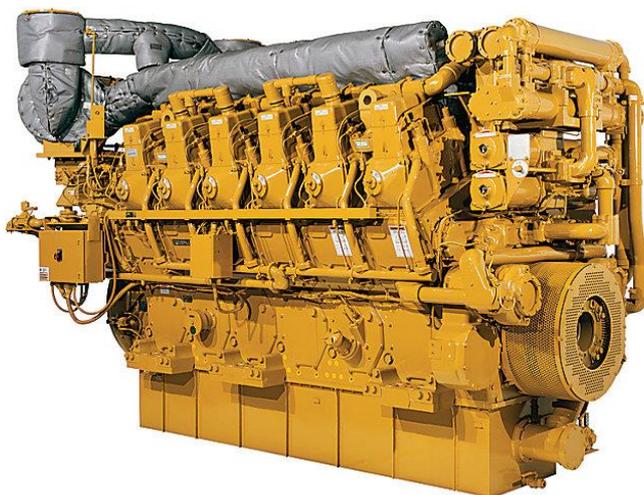


Ilustración 42: Motor Alternativo de Combustión Interna (CAT: Motor de Gas GS3612)

Para la recuperación del calor de los humos instalaremos un intercambiador de calor, con el que conseguiremos calentar el fluido frío (aire del ambiente en nuestro caso) y enfriar el fluido caliente (los gases de escape del motor alternativo de combustión interna).

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar en dos grandes grupos: de mezcla y de superficie. Los más comunes son los de superficie, dado que al no mezclarse los fluidos se evita la posible contaminación que puede tener uno de ellos, aprovechando únicamente su calor. La transferencia de calor se realiza a través de una pared sólida, donde los dos fluidos están en contacto con dicha pared. En este tipo de intercambiador los fluidos de trabajo pueden ser tanto líquido/líquido, gas/líquido como gas/gas.

Dependiendo de la forma del recuperador de calor se pueden diferenciar dos grupos: dinámicos (rotativos) y estáticos (de placas). La estructura de los rotativos se basa en una rueda dividida por la mitad con múltiples conductos de pequeño diámetro en sentido axial y paralelos entre ellos. De esta forma un flujo de aire circula por el semicírculo superior y el otro flujo por el semicírculo inferior. El movimiento de dicha rueda se debe a un pequeño moto reductor que los mueve a 10-15 rpm. Su utilización es especialmente para grandes caudales de aire y el rendimiento de estos intercambiadores suele superar el 80%.

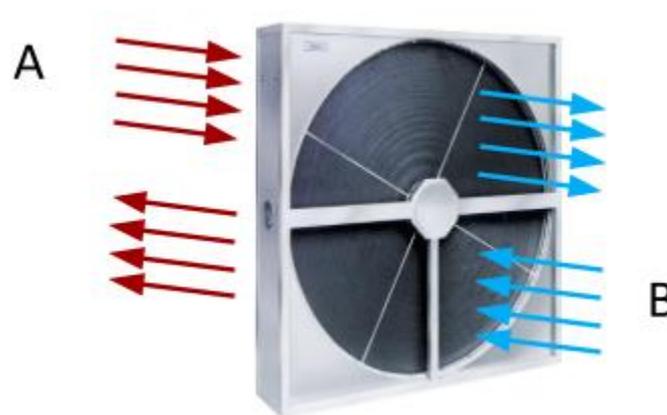


Ilustración 43: intercambiador de calor rotativo

Los intercambiadores de placas están constituidos por unas placas muy finas de aluminio o plástico, paralelas entre sí por las que circulan los flujos de aire por cada una de las caras, el sentido del flujo que circula pudiendo ser cruzado o a contraflujo. En el caso del flujo cruzado los flujos circulan en direcciones perpendiculares, una construcción simple que hace que el coste del aparato sea aceptable. La desventaja de esta forma constructiva es el rendimiento que se encuentra entorno al 60%.

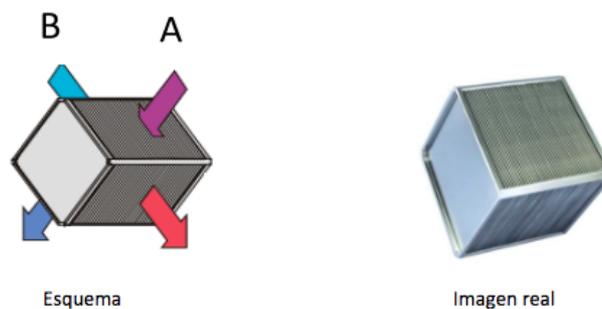


Ilustración 44: intercambiador de flujo cruzado

En el caso de contraflujo el flujo de aire transcurre de forma paralela y en sentido opuesto por el interior del intercambiador. En este caso el coste es más alto pero también el rendimiento es mayor, pudiendo superar el 90%. Teniendo en cuenta la importancia de la eficiencia energética, cada vez se utilizan más este tipo de intercambiadores. (S&P, 2018)

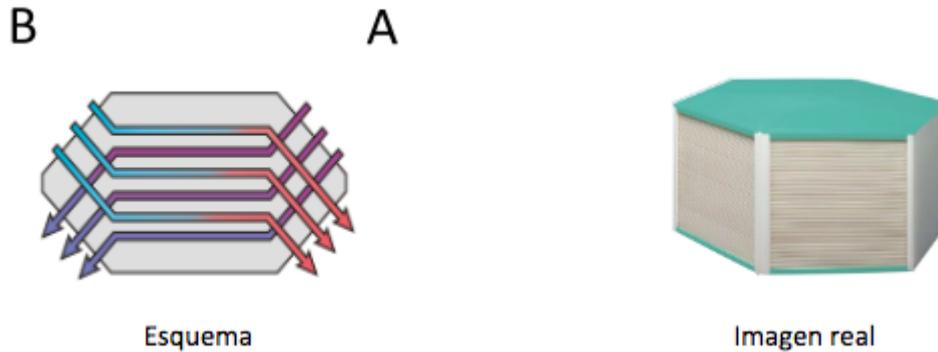


Ilustración 45: intercambiador a contraflujo

Por lo tanto, el intercambiador a instalar será de placas soldadas de acero inoxidable con un diseño de contraflujo, que sirven para aplicaciones de alta temperatura como recuperación de calor de gases de escape de hasta una temperatura de 815°C, con una capacidad de volumen hasta 161.405 m³/h (Honeywell Eclipse). Dicho intercambiador estará calorifugado para evitar cualquier pérdida de calor al exterior, el intercambio se producirá exclusivamente entre el fluido caliente y el fluido frío, por lo que su rendimiento será de 1.

Para el máximo aprovechamiento de la energía generada utilizaremos el aire de la sala de motores como base, ya que de esta forma aprovecharemos las pérdidas de calor por radiación que tiene el MACI y las pérdidas de calor del horno, energía que no es posible aprovechar de otro modo.



Ilustración 46: intercambiador de calor de placas soldadas

De modo que el esquema de la planta de cogeneración que se desea instalar quedaría de la siguiente manera:

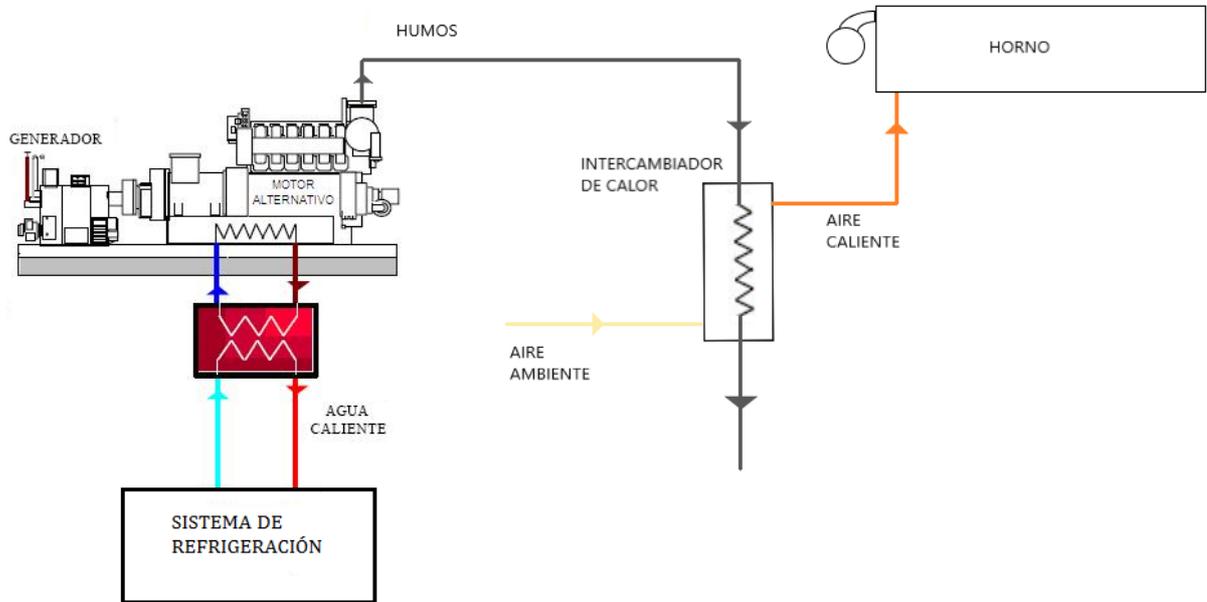


Ilustración 47: esquema de la planta propuesta

El motor alternativo de combustión interna se alimenta de gas natural y mediante el movimiento del grupo cilindro-pistón, que se consigue por medio de la combustión, se genera energía mecánica. A través del alternador dicha energía mecánica se convierte en electricidad que se utilizará en la fábrica. Al mismo tiempo, en la quema del combustible se generan unos gases de escape, los cuales salen a una gran temperatura. Con el objetivo de aprovechar su calor se circulan por el intercambiador de calor transfiriendo dicho calor al aire de ambiente que circula a contracorriente. Finalmente, a la salida del intercambiador se obtiene un aire caliente suficiente para el proceso de secado de la pintura y unos humos con una temperatura inferior al de inicio que se expulsan al exterior.



7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

Los equipos principales de la planta a instalar son fundamentalmente los siguientes:

- Motor Alternativo de Combustión Interna
- Intercambiador de calor

La elección del motor alternativo de combustión interna se realizará principalmente teniendo en cuenta con cuál se obtiene la energía térmica necesaria o cuál de ellas se aproxima más. Por lo que mediante unos cálculos generales obtendremos el rango de dimensionamiento del MACI a instalar.

Se partirá de las condiciones necesarias anteriormente citadas y se supondrá lo siguiente:

- El combustible a utilizar será el Gas Natural, con un PCI de 37.600 kJ/Nm³.
- Las condiciones de los gases de escape del motor serán las siguientes:

$$T_g = 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_g' = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Cp_g = 1,041 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

- Rendimiento de los gases de escape: $\eta_g = 0,22$
- Rendimiento eléctrico del motor: $\eta_e = 0,44$
- Rendimiento del circuito de AT: $\eta_{AT} = 0,22$
- Rendimiento del circuito de BT: $\eta_{BT} = 0,06$
- Rendimiento en pérdidas: $\eta_p = 0,06$

Una vez que se conocen los datos de partida y se suponen el resto de valores, se realiza un Balance de Energía en el Intercambiador de Calor:

$$m_g \cdot Cp_g \cdot (T_g - T_g') = m_{aire} \cdot Cp_{aire} \cdot (T_2 - T_1)$$

De la ecuación anterior se conocen todos los valores excepto el flujo másico de los gases de escape. Por lo que es posible despejarla y resolverla:

$$m_g \cdot 1,041 \cdot (400 - 120) = 2,267 \cdot 1,017 \cdot (210 - 15)$$

$$m_g = 1,54 \text{ kg/s}$$



Mediante esta ecuación también resolvemos que la potencia de los gases de escape será de:

$$W_g = 449,3 \text{ kW}$$

Una vez conocido W_g , utilizando el rendimiento de los gases que se ha supuesto se obtiene el consumo de combustible:

$$\eta_g = W_g/Q_c = 0,22$$

$$Q_c = 2.042 \text{ kW}$$

Por último, utilizando el rendimiento eléctrico se obtiene la potencia eléctrica:

$$\eta_e = W_e/Q_c = 0,44$$

$$W_e = 898,7 \text{ kW}$$

De esta forma se obtiene la potencia eléctrica aproximada que se requiere. Como se puede observar, la potencia eléctrica obtenida es relativamente pequeña. Ha de tener en cuenta que el rendimiento eléctrico de un MACI suele encontrarse entre 44-47% y para este cálculo se ha tomado el valor más pequeño. Por lo que se estudiarán los MACI de 1.000 kW_e, siendo este un valor de potencia estándar en fabricación de motores.

Una vez concretado la potencia eléctrica del MACI, se realiza un estudio comparativo de los motores del mercado actual evaluando la temperatura de los gases de salida, el rendimiento térmico y eléctrico, la combustión necesaria, el precio, etc.

En el catálogo de Jenbacher se ha encontrado un MACI que proporciona 1.000 kW eléctricos al 100% de su capacidad, es decir a plena carga. Para ello se hace necesario de una energía invertida de 2.463 kW, siendo su combustible el Gas Natural con un PCI de 10,5 kWh/Nm³. Conociendo dichos consumos, su rendimiento eléctrico equivale a 40,6%, valor coincidente con lo que se especifica en el documento de los datos técnicos de este motor.

También nos proporcionan el flujo másico y la temperatura de los gases de escape, 4.951 kg/h y 433°C respectivamente. Por lo tanto, utilizando dichos valores para rehacer los cálculos anteriormente expuestos obtendremos lo siguiente:

$$W_g = (4.951 \cdot /3.600) \cdot 1,045 \cdot (433-120) = 449,9 \text{ kW}$$



Realizando el balance de energía en el intercambiador de calor, suponiendo el rendimiento de este del 100% como ya se ha comentado anteriormente:

$$449,9 \text{ kW} = m_{\text{aire}} \cdot 1,017 \cdot (210-15)$$
$$m_{\text{aire}} = 2,269 \text{ kg/s} = 8,17 \text{ t/h}$$

Por lo que obtenemos un flujo másico de aire caliente ligeramente superior al necesario, abasteciendo así la necesidad de energía térmica de la fábrica de electrodomésticos.

Una vez corroborado que se cumplen las necesidades, se realizará el cálculo para conocer el caudal necesario para el sistema de refrigeración del motor, elemento indispensable para su buen funcionamiento.

Según los datos técnicos facilitados por Jenbacher, la potencia total térmica aprovechable en el circuito de agua caliente es de 1.128 kW, siendo la temperatura de retorno de 70°C y la de salida de 90°C.

Realizando el balance de energía obtendremos el caudal de agua caliente necesario:

$$W_{\text{ac}} = m \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$
$$1.128 = m \cdot 4,196 \cdot (90-70)$$
$$m = 13,44 \text{ kg/s}$$

Convirtiéndolo a caudal volumétrico:

$$V = m/\rho$$
$$V = 13,44/1.000 \cdot 3600 = 49,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para calcular la sección de la tubería del agua tomamos como velocidad del agua de 2,5 m/s, dado que la velocidad de los líquidos suele rondar los 2-3 m/s.

$$V = A \cdot C$$
$$49,8/3600 = A \cdot 2,5$$
$$A = 0,0055 \text{ m}^2$$

Siendo la tubería un cilindro, su diámetro será entorno de 0,084 m, es decir de unos 8,4 cm.



En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos con el motor seleccionado. Los cuadros que se encuentran sombreados en color gris son los datos utilizados para la realización de los cálculos. Como se puede observar, los resultados se asemejan a los obtenidos anteriormente, por lo que las suposiciones realizadas son razonables.

PCI	37.800 kJ/Nm ³
T _g	433°C
T _g '	120°C
Cp _g	1,045 kJ/kg°C
η _g	0,1827
η _e	0,406
η _{AT}	0,458
η _{BT}	0,024
m _g	1,375 kg/s
W _g	449,9 kW
Q _c	2.463 kW
W _e	1.000 kW
m _c	234,6 Nm ³ /h
m _{aire}	2,269 kg/s
R _{EE}	0,5094
W _{AT}	1.128 kW
V _{AT}	49,8 m ³ /h
W _{BT}	59 kW
V _{BT}	22,27 m ³ /h

Tabla 1: resultados de la planta de cogeneración

Como se puede observar, la potencia térmica aprovechable en el circuito de agua caliente es muy superior a la potencia en gases. Esto se debe a que el circuito de AT del motor está diseñado en serie para un mayor aprovechamiento térmico y en contra reduciendo la cantidad de electricidad generada.

Finalmente, el esquema del apartado térmico del motor alternativo de combustión interna escogido es el siguiente:

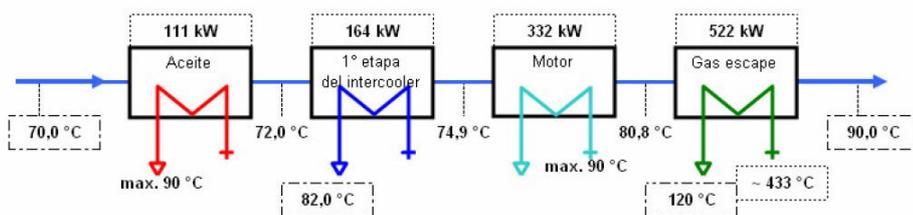
Circuito de agua caliente

J 320 GS-C05

Potencia térmica aprovechable = 1.128 kW

(±8% tolerancia +10% reserva para sistema de refrigeración)

Caudal de agua caliente = 48,5 m³/h



Circuito de baja temperatura (calculado con glicol 37%)

Calor a disipar = 59 kW

(±8% tolerancia +10% reserva para sistema de refrigeración)

Caudal del agua de refrigeración = 25,0 m³/h

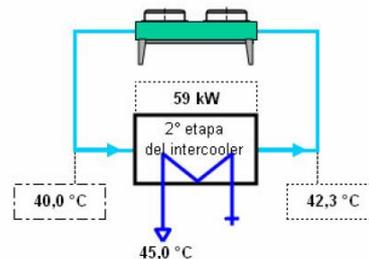


Ilustración 48: esquema térmico MACI

(Jenbacher, 2008)

Una vez dimensionado el equipo principal, se comprueba que se cumple el rendimiento eléctrico equivalente, condición necesaria para poder acogerse al régimen especial regulado en el real decreto 661/2007.

El rendimiento eléctrico equivalente definido por el real decreto se calcula con la siguiente fórmula:

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

Siendo:

Q = el consumo de la energía primaria, medida por el poder calorífico inferior de los combustibles utilizados.

V = producción de calor útil o energía térmica.

E = energía eléctrica generada medida en bornes de alternador y expresada como energía térmica.



Ref H: Valor de referencia del rendimiento para la producción separada de calor.

Una vez definido el R_{EE} , para cumplir el régimen especial de este real decreto, siendo la instalación planteada parte del grupo a.1, es decir, instalaciones que incluyan una central de cogeneración siempre que supongan un alto rendimiento energético, será condición necesaria que el rendimiento eléctrico equivalente de la instalación, en promedio de un período anual, sea igual o superior al que le corresponda según la siguiente tabla:

Tipo de combustible	R_{EE} (%)
Combustibles líquidos en centrales con calderas	49
Combustibles líquidos en motores térmicos	56
Combustibles sólidos	49
Gas natural y GLP en motores térmicos	55
Gas natural y GLP en turbinas de gas	59
Otras tecnologías y/o combustibles	59
Biomasa incluida en los grupos b.6 y b.8	30
Biomasa y/o biogás incluido en el grupo b.7	50

Tabla 2: rendimiento eléctrico equivalente según tipo de combustible

Pero ha de tenerse en cuenta que para aquellas instalaciones cuya potencia instalada sea menor o igual 1MW, el valor del rendimiento eléctrico equivalente mínimo requerido será un 10 por ciento inferior al que aparece en la tabla anterior (BOE, 2007).

Por lo tanto, para el caso que se está estudiando, siendo el combustible gas natural en motores térmicos, el rendimiento eléctrico equivalente deberá de ser superior a 49,5%.

Actualmente la producción de calor se realiza mediante un combustible líquido, diésel, quemándolo en el quemador del horno. Por lo que su rendimiento es entorno del 90%.

Aplicando la fórmula del rendimiento eléctrico equivalente:

$$R_{EE} = \frac{1.000 * t}{2.463 * t - \frac{449,9 * t}{0,9}} = 0,5094$$

Se puede observar que se cumple la condición del RD 661/2007.



8. ESTUDIO ECONÓMICO

La realización del estudio económico es imprescindible para conocer la viabilidad del presente proyecto. De esta forma se podrá conocer el ahorro neto que se obtiene y el tiempo de retorno simple de la inversión a realizar.

Como ya se ha expresado anteriormente, el dimensionamiento de la planta se ha realizado con el objetivo de abastecer térmicamente las necesidades actuales. Por lo que la rentabilidad del proyecto se basa fundamentalmente en el buen aprovechamiento de la energía térmica, dado que toda la energía eléctrica generada se consumirá en la instalación. Por lo tanto no se obtendrán beneficios por la venta de electricidad pero si se ahorrará una cantidad de electricidad que actualmente es necesaria comprarla a la Red Eléctrica de España.

8.1. AHORRO ENERGÉTICO

Para realizar los cálculos de los ahorros que se obtendrán en el apartado energético se toma como referencia que la disponibilidad de la fábrica es de 8.000 h/a.

El ahorro de electricidad que se obtiene es igual a la energía eléctrica generada por el MACI seleccionado, es decir:

$$\text{Ahorro E.E: } 1.000\text{kW}_e \cdot 8.000\text{h/a} \cdot 0,1\text{€/kWh} = \mathbf{800.000 \text{ €/a}}$$

Para el cálculo de la energía térmica se tendrá en cuenta que actualmente la cámara de combustión del horno se alimenta con gasóleo. Por lo tanto, los ingresos que se obtendrán por el ahorro de combustible de la cámara de combustión serán los siguientes:

Suponiendo que el rendimiento de la cámara de combustión es del 85% y que la demanda térmica es de 449,9 kW:

$$\eta_{cc} = W_g/W_c = 0,90$$

$$W_c = 499,9 \text{ kW}$$

$$\text{Ingreso E.T: } 499,9\text{kW} \cdot 8.000\text{h/a} \cdot 0,068\text{€/kWh} = 271.935 \text{ €}$$

El consumo de combustible que se tendrá con la implantación de la cogeneración será el siguiente:



Gasto E.T: $2.463\text{kW} \cdot 8.000\text{h/a} \cdot 0,04\text{€/kWh} = 788.160 \text{ €}$

Por lo tanto, el balance de la energía térmica será de:

Balance E.T: $271.935 - 788.160 = -516.225 \text{ €}$

Sin embargo, los costes de operación y mantenimiento necesarios para el buen funcionamiento del grupo cogenerador son costes suplementarios que hay que tener en cuenta a la hora de calcular el ahorro que se obtiene con la implantación de la nueva instalación. El perfil profesional adecuado a contratar para la operación del MACI es un maquinista naval o un profesional electromecánico, siendo su coste anual entorno de 30.000 €, ya que una motor de este tamaño no necesita un operario a su disposición. En el caso del mantenimiento, a la hora de comprar el motor se negocia el precio del mantenimiento para los primeros cinco años pero una vez finalizado el período el coste de mantenimiento lo establece el fabricante del motor. Por lo que, tomando como coste de mantenimiento un precio unitario de 5,5€/MWh, el coste de mantenimiento de este proyecto será de 44.000 €/a.

	AHORRO
E.E.	800.000 €
E.T.	- 516.225 €
OPERACIÓN	- 30.000 €
MANTENIMIENTO	- 44.000 €
TOTAL	209.775 €

Tabla 3: resumen ahorro

Siendo el ahorro total de 209.775 €.

8.2. INVERSIÓN

La estimación para calcular la inversión necesaria en el sector industrial se basa en la economía de escala, es decir, cuanto mayor es la potencia eléctrica que se genera menor será costo en proporción. Teniendo en cuenta esto, para el cálculo general de



la inversión se toma como base los MW de potencia eléctrica y estos son equiparables a los millones de € necesarios de invertir.

Así, la instalación de un MACI de 1 MWe supone una inversión entorno de 1.000.000 €, el cual incluye el grupo cogenerador, las actuaciones mecánicas y eléctricas necesarias y la obra civil.

También han de tenerse en cuenta los gastos financieros, amortizaciones e interés de capital que supondrán el conjunto de la inversión total. Por lo que finalmente la inversión total rondaría los 1.040.000 €.

8.3. TIEMPO DE RETORNO SIMPLE

Una vez conocidos los ahorros y las inversiones a realizar, se calcula el TRS, es decir el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

$$\text{TRS} = I/A = 1.040.000/209.775 = 4,96 \text{ años}$$

Es un valor muy aceptable teniendo en cuenta que la vida útil del grupo cogenerador será alrededor de 15 años.



9. CRONOGRAMA

Para llevar a cabo este proyecto, se deben realizar una cantidad de tareas en un tiempo determinado para que se cumplan el plazo establecido de entrega.

Al ser una fábrica en continuo funcionamiento, exceptuando el periodo de vacaciones de los empleados coincidente con el periodo de mantenimiento de los equipos, se calculará para que la ejecución se ajuste a este mismo periodo. Por lo tanto, las tareas de obra civil, montaje y puesta en marcha deben terminar a finales del mes de agosto.

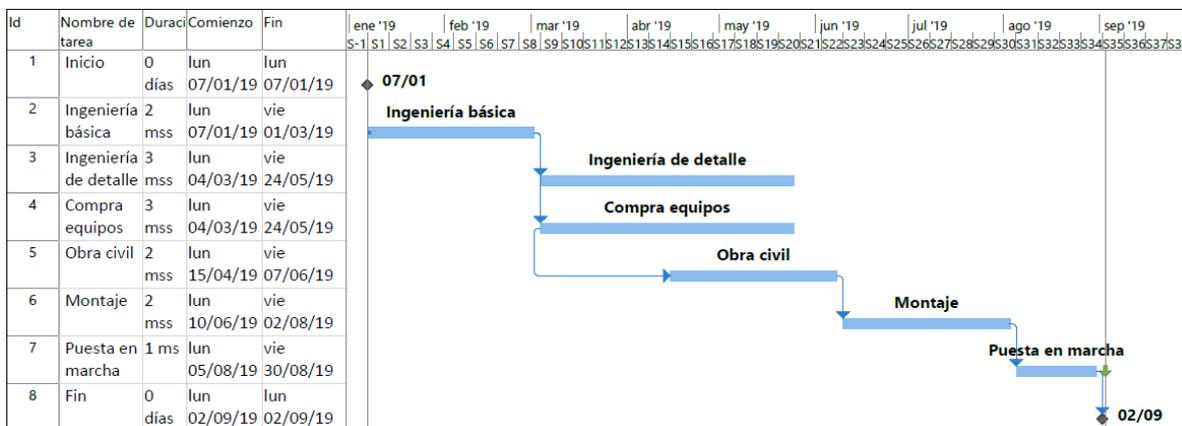


Ilustración 49: GANTT del proyecto

Como se puede observar en la anterior ilustración, el proyecto comienza con una Ingeniería Básica que dura dos meses. Inmediatamente después se continuará con Ingeniería de Detalle, trabajando en paralelo en la compra de los equipos. Dichas tareas tienen una duración de tres meses. La obra civil a realizar comenzará un mes y medio tras haber comenzado la tarea de la compra de equipos, dado que los elementos que se necesitan comprar no se encuentran en stock comúnmente. Una vez finalizada la obra civil, se continúa con el montaje y finalmente se realiza la puesta en marcha.

Ha de tenerse en cuenta que un retraso en cualquiera de las tareas exceptuando la Ingeniería de Detalle acarrearía un retraso en la finalización del proyecto. Como no se contempla la opción de finalizar posteriormente a la fecha señalada, se tomarían medidas de extender la jornada laboral con horas extras y si fuese necesario se subcontrataría para realizar parte de las tareas. Todo esto conllevaría un sobrecoste en el proyecto, por lo que para evitarlo se revisará el estado del proyecto periódicamente.



10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante este proyecto se ha realizado el estudio de implantar un sistema de cogeneración en una fábrica de electrodomésticos. Llegando a la conclusión de su viabilidad, dado que la inversión a realizar se recupera en torno a 5 años, siendo este un valor aceptable. Sin embargo, este tiempo de retorno está calculado con precios medios de gas y de electricidad, es decir, son valores orientativos. Pero la inestabilidad del mercado energético puede hacer que aumente o disminuya dichos precios y, por lo tanto, variar la cantidad de años necesarios para la recuperación de la inversión económica. Por lo que dicha inestabilidad puede ser un factor clave a la hora de llevar a cabo el proyecto.

Por otro lado, ha de tenerse en cuenta el impacto positivo que tiene este estudio para el medio ambiente y la sociedad, ya que la utilización del calor y la electricidad en origen de producción hace que las pérdidas de energía sean mínimas, de tal forma que la contaminación generada sea inferior. Esta disminución de contaminantes también será notable por el cambio a un combustible de menor factor de emisión y la utilización mínima, en caso de extrema necesidad, de la actual caldera de gasoil.

Por lo tanto, queda claro que la elección del motor alternativo de combustión interna es la pieza clave para una planta de cogeneración de estas características y gran parte de la viabilidad del proyecto dependerá de ello.

Finalmente, se recomienda realizar estudios de este tipo en fábricas donde haya necesidad de energía térmica además de la eléctrica, ya que se obtendrá un beneficio en la mayoría de los casos, más si la demanda térmica es importante. Dado que en la fábrica estudiada el calor necesario es escaso, esto hace que el ahorro energético quede limitado pero así y todo es importante.



11. BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. (s.f.). *Acciona*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>
- Antón, P. (23 de Noviembre de 2013). Así se fabrica una lavadora RTVE. (L. García, Entrevistador)
- APPA. (s.f.). *APPA*. Obtenido de <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- Argemí, R. (2010). *Fundamentos y justificación de la cogeneración*. Barcelona. B/S/H/ España. (s.f.). *B/S/H/ España*. Recuperado el 14 de Abril de 2019, de <https://www.bsh-group.com/es/>
- BOE. (26 de mayo de 2007). *BOE*. Recuperado el 16 de abril de 2019, de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-10556-consolidado.pdf>
- Combustibles Aragón. (1 de abril de 2016). *Combustibles Aragón*. Obtenido de <https://combustiblesaragon.es/tipos-de-biomasa/>
- De la Peña, V. (2017). *Biomasa*. Bilbao, Bizkaia.
- el economista. (14 de Abril de 2019). *el economista*. Recuperado el 14 de Abril de 2019, de <https://ranking-empresas.economista.es/sector-2751.html>
- El Equipo de Marketing. (8 de agosto de 2018). *Powdertronic*. Recuperado el 24 de abril de 2019, de <http://powdertronic.com/tipos-de-hornos-de-pintura-industrial/>
- Energía solar. (s.f.). *Energía solar*. Recuperado el 28 de febrero de 2019, de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>
- enertres. (s.f.). *enertres*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de <https://enertres.com/geotermia/>
- EP. (4 de marzo de 2018). *Expansión*. Obtenido de <http://www.expansion.com/empresas/energia/2018/03/04/5a9bf589ca474154358b4649.html>
- Honeywell Eclipse. (s.f.). *Eclipsenet*. Recuperado el 24 de abril de 2019, de https://www.eclipsenet.com/products/es/dimple_insulated/
- ingeka. (s.f.). *ingeka*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de <https://www.ingeka.es/geotermia/que-es-la-geotermia>
- Jenbacher. (8 de Julio de 2008). Datos técnicos MACI Jenbacher.
- López, A. R. (s.f.). *Centrales Termosolares*. Recuperado el 27 de 02 de 2019, de <http://www.centralestermosolares.com/historia-de-la-energia-termsolar>
- Residuos profesional. (12 de diciembre de 2017). *Residuos profesional*. Recuperado el 23 de febrero de 2019, de <https://www.residuosprofesional.com/sener-construira-planta-biomasa-ence/>
- Rivas, P. (2019). *instalaciones y eficiencia energética*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calefaccion-por-geotermia/>
- S&P. (12 de julio de 2018). *Solerpalau*. Recuperado el 24 de abril de 2019, de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/intercambiadores-calor/>



12. ANEXOS

12.1. ANEXO 1: COMPARATIVA MERCADO MACI

FAMILIA	DIAMETRO (mm)	CARRERA (mm)	CONFIGURACIÓN	GAMA POTENCIA (KW)	REGIMEN (rpm) (Hz)	PME (min-max) (bar)	VPM (m/s)	CONSUMO (min-max) (g/kWh)	TEMPERATURA GASES EXHAUST. (min-max) (°c)	CAUDAL (min-max) (kg/h)
DIESEL										
CASLI-MTU										
400G21	165	190	12V-16V	1330-1760	1500 (50)	21,7-21,8	9,5	-	-	-
CATERPILLAR										
3500	170	190	8V-12V-16V	728-2000	1500 (50)	15,2-22,5	9,5	213-227	428-524	-
CUMMINS										
KTA50	159	159	16V	1076-1397	1500 (50)	17,44-22,75	7,9	210	482-518	-
DEUTZ ENERGY										
TCD2020	-	-	12V-16V	1283-2539 (KVA)	1500 (50)	-	-	249-491 (l/h)	428-519	-
DIESEL Y GAS										
NAVANTIA-MAN B & W										
20/27	200	270	12V-14V-16V-18V	1200-1800	1000 (50)	14,15	9	195	420	-
WÄRTSILÄ										
20	200	280	6L-8L-9L	1080-1620	1000 (50)	24,6	9,3	-	-	-
GAS NATURAL/BIOGAS										
CASLI-MTU										
4000L61	170	210	8V-12V-16V	800-1600	1500 (50)	16,8	10,5	-	456	-
CATERPILLAR										
G3500	170	190	8V-12V-16V	510-2000	1500 (50)	11,7-12,4	9,5	9,2-10,2 (MJ/h)	402-567	2838-11984
CUMMINS										
1400GQKX	159	190	16V	1400	1500 (50)	19,1	9,5	3300	441	7452
DEUTZ ENERGY										
TCG 2020K	170	195	12V-16V	1050-1400	1500 (50)	15,8	9,8	2545-3274 (KJ/h)	515-523	5499-7332



12.2. ANEXO 2: DATOS TÉCNICOS MACI JENBACHER



0.01 Datos Técnicos (del módulo)

Datos referidos a:			Plena carga	Carga parcial	
Poder calorífico inferior del gas (PCI)		kWh/Nm ³	10,5		
			100%	75%	50%
Energía invertida		kW	[2] 2.463	2.009	1.410
Caudal de gas		Nm ³ /h	*) 235	191	134
Potencia mecánica		kW	[1] 1.030	821	548
Potencia eléctrica		kW el.	[4] 1.000	796	529
Potencia térmica aprovechable					
~ 1 ^º etapa del intercooler		kW	164	96	21
~ Aceite		kW	111	98	82
~ Agua de camisas		kW	332	291	250
~ Gases de escape enfriados hasta 120 °C		kW	522	454	340
Potencia total térmica aprovechable		kW	[5] 1.128	939	693
Calor a disipar					
~ 2 ^º etapa del intercooler		kW	59	48	28
~ Calor superficial	ca.	kW	[7] 77	64	47
~ Calor restante		kW	47	39	28
Consumo específico de combustible		kWh/kWh	[2] 2,39	2,45	2,57
Consumo de aceite lubricante	ca.	kg/h	[3] 0,31	~	~
Rendimiento eléctrico		%	40,6%	39,6%	37,5%
Circuito de agua caliente:					
Temperatura de salida		°C	90,0	86,7	82,3
Temperatura de retorno		°C	70,0	70,0	70,0
Caudal de agua caliente		m ³ /h	48,5	48,5	48,5

*) Valor indicativo para el dimensionamiento de las tuberías

[] Véase 0.10 para explicaciones - Condiciones técnicas de funcionamiento

Todos los valores del balance térmico están basados en condiciones estándares según anexo 0.10. Cualquier desviación respecto a las condiciones estándares puede originar cambios en los valores especificados. Esto se ha de considerar para el dimensionamiento de los equipos de refrigeración (Intercooler, refrigeración de emergencia, ...). Se recomienda calcular con una reserva adicional del 10% sobre la tolerancia general de +/-8% de la potencia térmica para dimensionar el sistema de refrigeración adecuadamente.



Dimensiones globales y pesos (del módulo)

Longitud	mm	~ 5.700
Anchura	mm	~ 1.900
Altura	mm	~ 2.300
Peso en seco	kg	~ 11.000
Peso listo para funcionar	kg	~ 11.500

Conexiones

Entrada y salida de agua caliente	DN/PN	80/10
Salida de gases de escape	DN/PN	250/10
Gas combustible (en la rampa de gas)	DN/PN	80/16
Gas combustible (del módulo)	DN/PN	100/10
Purga de agua caliente ISO 228	G	½"
Purga de condensados	DN/PN	50/10
Válvula de seguridad - agua de refrig. de camisas ISO 228	DN/PN	2x1½"/2,5
Válvula de seguridad - agua caliente	DN/PN	65/16
Rellenado de aceite (tubo)	mm	28
Purga de aceite (tubo)	mm	28
Boquilla de rellenado para agua de camisas (manguera)	mm	13
Entrada/salida de agua de la 1º etapa del intercooler	DN/PN	80/10
Entrada/salida de agua de la 2º etapa del intercooler	DN/PN	65/10



0.02 Datos Técnicos del motor

Fabricante		GE Jenbacher
Tipo del motor		J 320 GS-C05
Funcionamiento		Cuatro tiempos
Configuración		V 70°
Número de cilindros		20
Taladro	mm	135
Carrera	mm	170
Cilindrada	lit	48,67
Velocidad nominal	rpm	1.500
Velocidad media del pistón	m/s	8,50
Volumen de aceite	lit	370
Volumen de agua	lit	150
Longitud	mm	3.320
Anchura	mm	1.358
Altura	mm	2.065
Peso en seco (motor)	kg	5.000
Peso total listo para funcionar	kg	5.500
Momento de inercia del motor	kgm ²	8,61
Sentido de rotación (mirando el volante)		izquierda
Brida del volante de inercia		SAE 18"
Radiointerferencia según VDE 0875		N
Potencia del arrancador	kW	9
Voltaje del arrancador	V	24

Potencia térmica

Energía invertida	kW	2.463
Mezcla	kW	223
Aceite	kW	111
Agua de camisas	kW	332
Gas escape total	kW	673
Gases de escape enfriados hasta 180 °C	kW	425
Gases de escape enfriados hasta 100 °C	kW	554
Calor superficial	kW	47
Calor restante	kW	47

Datos de los gases de escape

Temperatura de los gases de escape a plena carga	°C [8]	433
Caudal másico húmedo de los gases de escape	kg/h	5.349
Caudal másico seco de los gases de escape	kg/h	4.951
Caudal volumétrico húmedo de gases de escape	Nm ³ /h	4.229
Caudal volumétrico seco de gases de escape	Nm ³ /h	3.752
Perdida de presión máx. de gases de escape a la salida del motor	mbar	60

Datos del aire de combustión

Caudal másico de aire	kg/h	5.172
Caudal volumétrico de aire	Nm ³ /h	4.001
Depresión máx. admisible de aspiración	mbar	10

Base datos de escape: gas natural: 100% CH₄; biogas: 65% CH₄, 35% CO₂

**Potencia / Consumo**

Potencia continua ISO estándar ICFN	kW	1,030
Pres. med. efectiva a potencia y veloc. nominal	bar	16,91
Tipo de gas (combustible)		Gas natural
Número de metano de referencia	MZ d)	70
Relación de compresión	Epsilon	12,50
Presión mín./máx. del gas en la entrada de la rampa de gas	mbar	80 - 200 c)
Oscilaciones permitidas en la presión del gas combustible	%	± 10
Velocidad máx. admisible para variaciones de la presión de gas	mbar/sec	10
Temp. máx. admisible del agua en la 2ª etapa del intercooler	°C	40
Consumo específico de combustible	kWh/kWh	2,39
Consumo específico de aceite	g/kWh	0,30
Temperatura máx. del aceite	°C	90
Temperatura máx. del agua de camisas	°C	90

c) Menor presión de gas posible si se requiere

d) basado en programa de cálculo del número de metano AVL 3.1

Nivel de presión sonora

genset b)	dB(A) re 20µPa	95
31,5 Hz	dB	78
63 Hz	dB	90
125 Hz	dB	92
250 Hz	dB	89
500 Hz	dB	92
1000 Hz	dB	90
2000 Hz	dB	89
4000 Hz	dB	87
8000 Hz	dB	90
Gas escape a)	dB(A) re 20µPa	121
31,5 Hz	dB	97
63 Hz	dB	108
125 Hz	dB	118
250 Hz	dB	110
500 Hz	dB	113
1000 Hz	dB	114
2000 Hz	dB	117
4000 Hz	dB	115
8000 Hz	dB	114

potencia acústica

genset	dB(A) re 1pW	117
superficie de medida	m²	109
Gas escape	dB(A) re 1pW	129
superficie de medida	m²	6,28

a) los valores mencionados son presiones acústicas sobre superficie de medida según DIN 45635 tipo de precisión 2, distancia 1m.

b) los valores mencionados son presiones acústicas sobre superficie de medida (calculados en el exterior) según DIN 45635 tipo de precisión 3, distancia 1m.

En funcionamiento a 1200 1/min son los mismos valores, para 1800 1/min elevar los valores 3 dB.

Tolerancia ± 3 dB



0.03 Datos Técnicos del alternador

Fabricante		STAMFORD e)
Tipo		PE 734 C2 e)
Potencia tipo	kVA	1.550
Potencia en el eje	kW	1.030
Potencia efectiva nominal con $\cos \phi = 1,0$	kW	1.000
Potencia efectiva nominal con $\cos \phi = 0,8$	kW	989
Potencia aparente nominal con $\cos \phi = 0,8$	kVA	1.236
Intensidad nominal con $\cos \phi = 0,8$	A	1.784
Frecuencia	Hz	50
Voltaje	V	400
Número de revoluciones	rpm	1.500
Número de revoluciones de embalamiento	rpm	2.250
Factor de potencia		0,8 (i) - 0,97 (cap)
Rendimiento con $\cos \phi = 1,0$	%	97,1%
Rendimiento con $\cos \phi = 0,8$	%	96,0%
Momento de inercia del motor	kgm ²	36,33
Peso	kg	2.967
Radiointerferencia según VDE 0875		N
Construcción		B3/B14
Clase de protección		IP 23
Clase de aislamiento		H
calentamiento (a potencia nominal)		F
Temperatura ambiente máxima	°C	40
Coefficiente de distorsión en vacío entre fase y neutro	%	1,5

Reactancias y constantes de tiempo

x_d Reactancia síncrona longitudinal	p.u.	2,51
x_d' Reactancia transitoria longitudinal	p.u.	0,15
x_d'' Reactancia subtransitoria longitudinal	p.u.	0,11
T_d'' Constante de tiempo de cortocircuito subtransitoria	ms	10
T_a Constante de tiempo T_o	ms	20
T_{do}' Constante de tiempo transitoria en vacío	s	2,23

e) GE Jenbacher se reserva el derecho a cambiar el proveedor y tipo de alternador. Cambiándose mínimamente los datos de los alternadores asegurados por contrato y manteniendo la potencia eléctrica producida.



0.04 Datos Técnicos del sistema de recuperación térmica

Datos generales - Circuito del agua caliente

Potencia total térmica aprovechable	kW	1.128
Temperatura de retorno	°C	70,0
Temperatura de salida	°C	90,0
Caudal de agua caliente	m³/h	48,5
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	10
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,80
Variación admisible para la temperatura de retorno	°C	+0/-20
Velocidad máx. adm. para la variación de la temp. de retorno	°C/min	10

Intercambiador de calor de la mezcla (paso1)

Tipo	Intercambiador de calor de tubos aleteados	
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	10
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,20
Conexión de agua caliente	DN/PN	80/10

Intercambiador de calor de la mezcla (paso2) (IC independiente)

Tipo	Intercambiador de calor de tubos aleteados	
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	10
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,20
Conexión de agua caliente	DN/PN	65/10

Intercambiador de calor aceite

Tipo	Intercambiador de calor tubular	
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	10
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,20
Conexión de agua caliente	DN/PN	80/10

Intercambiador de calor agua de camisas

Tipo	Intercambiador de calor de placas	
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	10
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,20
Conexión de agua caliente	DN/PN	80/10

Intercambiador de calor gases de escape

Tipo	Intercambiador de calor tubular	
LADO PRIMARIO:		
Pérdida de presión de los gases de escape aprox.	bar	0,02
Conexiones de gases de escape	DN/PN	250/10
SECUNDARIO:		
Presión nominal máx. de agua caliente	bar	6
Pérdida de presión de agua caliente	bar	0,20
Conexión de agua caliente	DN/PN	100/10



12.3. ANEXO 3: CÁLCULOS EN EES

12.3.1. CASO GENERAL

{1. DATOS}

{1.1 CONDICIONES AMBIENTALES}

$T_{amb}=15$ {°C}
 $P_{amb}=1$ {bar}
 $cp_{amb}=Cp(Air_{ha};T=T_{amb};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}

{1.2 NECESIDADES PLANTA PRODUCCIÓN}

$T_{aire}=210$ {°C}
 $P_{aire}=P_{amb}$ {bar}
 $m_{aire}=8,16 \cdot 1000/3600$ {kg/s}
 $t=8000$ {h/año}
 $cp_{air}=Cp(Air_{ha};T=T_{aire};P=P_{aire})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{aire}=(cp_{amb}+cp_{air})/2$ {kJ/kg·K}

{1.3 SUPOSICIONES}

{1.3.1 COMBUSTIBLE: GAS NATURAL}

$PCI=37600$ {kJ/Nm³}

{1.3.2 GASES DE ESCAPE}

$cp_1=Cp(Air_{ha};T=T_g;P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_2=Cp(Air_{ha};T=T_g^0;P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_g=(cp_1+cp_2)/2$ {kJ/kg·K}
 $T_g=400$ {°C}
 $T_g^0=120$ {°C}
 $eta_g=22$ {%

{1.3.3 ENERGÍA ELÉCTRICA}

$eta_e=44$ {%

{1.3.4 ALTA TEMPERATURA}

$eta_{AT}=22$ {%}
 $T_{out_AT}=90$ {°C}
 $T_{in_AT}=70$ {°C}
 $cp_{AT1}=Cp(Water;T=T_{out_AT};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{AT2}=Cp(Water;T=T_{in_AT};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{AT}=(cp_{AT1}+cp_{AT2})/2$ {kJ/kg·K}
 $v_{AT}=Volume(Water;T=(T_{out_AT}+T_{in_AT})/2;P=P_{amb})$ {m³/kg}

{1.3.5 BAJA TEMPERATURA}



$\eta_{BT}=6$ {%}
 $T_{out_BT}=45$ {°C}
 $T_{in_BT}=40$ {°C}
 $cp_BT1=Cp(\text{Water};T=T_{out_BT};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_BT2=Cp(\text{Water};T=T_{in_BT};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_BT=(cp_BT1+cp_BT2)/2$ {kJ/kg·K}
 $v_BT=Volume(\text{Water};T=(T_{out_BT}+T_{in_BT})/2;P=P_{amb})$ {m³/kg}

{1.3.6 PÉRDIDAS}

$\eta_p=6$ {%}

{2. CÁLCULOS}

{2.1 Balance de Energía en Caldera de Recuperación}

$W_g=m_g \cdot c_{p,g} \cdot (T_g - T_{g0})$ {kW}

$W_g=m_{aire} \cdot c_{p,aire} \cdot (T_{aire} - T_{amb})$ {kW}

$\eta_g=W_g/Q_c \cdot 100$ {%}

$\eta_e=W_e/Q_c \cdot 100$ {%}

{2.2 Caudal combustible}

$Q_c=v_c/3600 \cdot PCI$ {kW}

{2.3 RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE}

$R_{ee}=W_e/(Q_c - W_g/0,9)$ {-}

{2.4 Caudal AT}

$\eta_{AT}=W_{AT}/Q_c \cdot 100$ {%}

$W_{AT}=m_{AT} \cdot c_{p,AT} \cdot (T_{out_AT} - T_{in_AT})$ {kW}

$V_{dot_AT}=m_{AT} \cdot v_{AT} \cdot 3600$ {m³/h}

{2.5 Caudal BT}

$\eta_{BT}=W_{BT}/Q_c \cdot 100$ {%}

$W_{BT}=m_{BT} \cdot c_{p,BT} \cdot (T_{out_BT} - T_{in_BT})$ {kW}

$V_{dot_BT}=m_{BT} \cdot v_{BT} \cdot 3600$ {m³/h}

{2.6 Pérdidas}

$\eta_p=W_p/Q_c \cdot 100$ {%}



12.3.2. CASO MACI JENBACHER

{1. DATOS}

{1.1 CONDICIONES AMBIENTALES}

$T_{amb}=15$ {°C}
 $P_{amb}=1$ {bar}
 $cp_{amb}=Cp(Air_{ha};T=T_{amb};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}

{1.2 NECESIDADES PLANTA PRODUCCIÓN}

$T_{aire}=210$ {°C}
 $P_{aire}=P_{amb}$ {bar}
 $\{m_{aire}=8,16 \cdot 3600/1000$ {kg/s}
 $cp_{air}=Cp(Air_{ha};T=T_{aire};P=P_{aire})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{aire}=(cp_{amb}+cp_{air})/2$ {kJ/kg·K}

{1.3 MACI JENBACHER}

{plena carga 100%}

{1.3.1 COMBUSTIBLE: GAS NATURAL}

$Q_c=2463$ {kW}
 $PCI=10,5$ {kWh/Nm³}

{1.3.2 ENERGÍA ELÉCTRICA}

$W_e=1000$ {kWe}
 $eta_e=40,6$ {%

{1.3.3 GASES DE ESCAPE}

$T_g=433$ {°C}
 $T_{g^0}=120$ {°C}
 $m_{g_seco}=4951/3600$ {kg/s}
 $cp_1=Cp(Air_{ha};T=T_g;P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_2=Cp(Air_{ha};T=T_{g^0};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_g=(cp_1+cp_2)/2$ {kJ/kg·K}

{1.3.4 AGUA CALIENTE}

$W_{AC}=1128$ {kW}
 $T_{out_AC}=90$ {°C}
 $T_{in_AC}=70$ {°C}
 $cp_{AC1}=Cp(Water;T=T_{out_AC};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{AC2}=Cp(Water;T=T_{in_AC};P=P_{amb})$ {kJ/kg·K}
 $cp_{AC}=(cp_{AC1}+cp_{AC2})/2$ {kJ/kg·K}
 $v_{AC}=Volume(Water;T=(T_{out_AC}+T_{in_AC})/2;P=P_{amb})$
 $C=2,5$ {m/s}



{1.3.5 BAJA TEMPERATURA}

$$\begin{aligned} W_{BT} &= 59 && \{kW\} \\ T_{out_BT} &= 42,3 && \{^{\circ}C\} \\ T_{in_BT} &= 40 && \{^{\circ}C\} \\ cp_{BT1} &= Cp(\text{Water}; T=T_{out_BT}; P=P_{amb}) && \{kJ/kg \cdot K\} \\ cp_{BT2} &= Cp(\text{Water}; T=T_{in_BT}; P=P_{amb}) && \{kJ/kg \cdot K\} \\ cp_{BT} &= (cp_{BT1} + cp_{BT2})/2 && \{kJ/kg \cdot K\} \\ v_{BT} &= \text{Volume}(\text{Water}; T=(T_{out_BT} + T_{in_BT})/2; P=P_{amb}) \end{aligned}$$

{2. CÁLCULOS}

{2.1 BALANCE DE ENERGÍA EN INTERCAMBIADOR DE CALOR}

$$\begin{aligned} W_g &= m_g \text{ seco} \cdot cp_g \cdot (T_g - T_{g^0}) && \{kW\} \\ W_g &= m_{aire} \cdot cp_{aire} \cdot (T_{aire} - T_{amb}) && \{kW\} \\ \eta_g &= W_g / Q_c \cdot 100 && \{\%\} \\ masa_{aire} &= m_{aire} \cdot 3600 / 1000 && \{t/h\} \end{aligned}$$

{2.2 CAUDAL COMBUSTIBLE}

$$Q_c = v_c / 3600 \cdot PCI \cdot 3600 \quad \{kW\}$$

{2.3 RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE}

$$R_{ee} = W_e / (Q_c - W_g / 0,9) \quad \{-\}$$

{2.4 CAUDAL AC}

$$\begin{aligned} \eta_{AC} &= W_{AC} / Q_c \cdot 100 && \{\%\} \\ W_{AC} &= m_{AC} \cdot cp_{AC} \cdot (T_{out_AC} - T_{in_AC}) && \{kW\} \\ \dot{V}_{AC} &= m_{AC} \cdot v_{AC} \cdot 3600 && \{m^3/h\} \\ \dot{V}_{AC} / 3600 &= A \cdot C && \{m^3/s\} \\ A &= \pi \cdot (D/2)^2 && \{m^2\} \end{aligned}$$

{2.5 CAUDAL BT}

$$\begin{aligned} \eta_{BT} &= W_{BT} / Q_c \cdot 100 && \{\%\} \\ W_{BT} &= m_{BT} \cdot cp_{BT} \cdot (T_{out_BT} - T_{in_BT}) && \{kW\} \\ \dot{V}_{BT} &= m_{BT} \cdot v_{BT} \cdot 3600 && \{m^3/h\} \end{aligned}$$

{2.6 PÉRDIDAS}

$$\begin{aligned} W_p &= Q_c - W_e - W_g - W_{AC} - W_{BT} \\ \eta_p &= W_p / Q_c \cdot 100 && \{\%\} \end{aligned}$$



{ESTUDIO ECONÓMICO}

t=8000	{h/año}
p_elec=0,1	{€/kwh}
p_GN=0,04	{€/kwh}
p_diesel=0,068	{€/kwh}
eta_cc=90	{%}

{1. AHORRO ENERGÉTICO}

{1.1 ENERGÍA ELÉCTRICA}

Ahorro_elec= $W_e \cdot t \cdot p_{elec}$	{€}
---	-----

{1.2 ENERGÍA TÉRMICA}

eta_cc= $W_g / Q_{cc} \cdot 100$	{%}
Ingreso_term= $Q_{cc} \cdot t \cdot p_{diesel}$	{€}
Gasto_term= $Q_c \cdot t \cdot p_{GN}$	{€}
Ahorro_term= $Ingreso_term - Gasto_term$	{€}

{1.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO}

Op=50000	{€}
p_mto=5,5	{€/MWh}
Mto= $W_e / 1000 \cdot t \cdot p_{mto}$	{€}
Ahorro= $Ahorro_elec + Ahorro_term - Op - Mto$	{€}

{2. INVERSIÓN}

Inv=1000000	{€}
Gastos_fin=0,04	{-}

{2.1 INVERSIÓN TOTAL}

I= $Inv \cdot (1 + Gastos_fin)$	{-}
----------------------------------	-----

{3. TRS}

TRS= $I / Ahorro$	{años}
-------------------	--------