



# **Diseño de una Planta de Cogeneración**

## **II. MEMORIA DE CÁLCULO**

AUTOR: Irene Jiménez Ruiz

DIRECTOR: Miguel Pérez Agustí

ESPECIALIDAD: Electrónica Industrial

CONVOCATORIA: Junio 2015

# ÍNDICE

<b>2. MEMORIA DE CÁLCULO .....</b>	<b>44</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	44
2.2. DATOS DE PARTIDA DE LA FÁBRICA .....	45
2.2.1. Demanda Térmica .....	45
2.2.2. Demanda Eléctrica.....	46
2.3. ESTUDIO PARA 5840 HORAS AL AÑO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA .....	48
2.3.1. Reglamento a cumplir .....	48
2.3.2. Cálculo del rendimiento eléctrico equivalente .....	49
2.4. CÁLCULO DE LA POTENCIA INICIAL A INSTALAR .....	52
2.5. EXPOSICIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS.....	54
2.6. ESTUDIO DE LOS 4 MOTORES .....	57
2.6.1. Motor Jenbacher, modelo JMS 320 EO1 .....	57
2.6.2. Motor Jenbacher, modelo JMS 320 EO2 .....	60
2.6.3. Motor Deutz, modelo TCG 2020 V12.....	63
2.6.4. Motor Caterpillar, modelo CAT G3516B .....	65
2.7. CÁLCULO DE CABLES PARA LOS DISTINTOS MOTORES .....	69
2.7.1. Cable para el motor CAT G3516B .....	69
2.7.2. Cable para el motor TCG 2020 V12.....	70
2.7.3. Cable para el motor JMS320-E01.....	72
2.7.4. Cable para el motor JMS320-E02.....	73
2.8. CONCLUSIÓN .....	76

## **2. MEMORIA DE CÁLCULO**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Para el correcto diseño de la planta de cogeneración tenemos que conocer las demandas energéticas de la fábrica.

Para hacer la instalación de cogeneración debemos hacer unos cálculos previos para estudiar qué equipos se adapta mejor a las características de la fábrica, estos cálculos se basan en las demandas eléctricas y térmicas de la fábrica.

A partir de ellos se decidirá que motor es el más apropiado para las condiciones de operación de la fábrica.

Los datos de partida han sido aportados por la fábrica objeto de estudio.

## 2.2. DATOS DE PARTIDA DE LA FÁBRICA

### 2.2.1. Demanda Térmica

Para el cálculo de la demanda térmica se cuenta con los datos facilitados por responsables de la fábrica sobre el consumo de gas natural del año 2014.

Tabla 6: Consumo de gas natural de la fábrica durante el año 2014

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

Con estos datos se concluye que la demanda térmica anual de nuestra fábrica es de 5.576.189 Kwh./año.

Estos datos son referidos al poder calorífico superior (PCI), ya que es el que se tendrá en cuenta a la hora de calcular las facturas térmicas.

### **2.2.2. Demanda Eléctrica**

La demanda eléctrica ha sido obtenida de forma análoga a la factura eléctrica. Exponemos las facturas mensuales, siendo el funcionamiento continuo durante el día y durante el año.

Tabla 7: Consumo de energía eléctrica de la fábrica durante el año 2014

	<b>TOTAL ACTIVA Kwh.</b>	<b>TOTAL EUROS</b>
<b>ENERO</b>	305.238	25.253
<b>FEBRERO</b>	262.947	22.865
<b>MARZO</b>	274.693	22.157
<b>ABRIL</b>	219.316	17.635
<b>MAYO</b>	305.327	22.974
<b>JUNIO</b>	342.563	25.225
<b>JULIO</b>	386.121	29.131
<b>AGOSTO</b>	379.786	30.015
<b>SEPTIEMBRE</b>	341.287	31.202

<b>OCTUBRE</b>	344.257	31.364
<b>NOVIEMBRE</b>	316.765	31.891
<b>DICIEMBRE</b>	305.600	30.489

Como se observa, el consumo anual de energía eléctrica en nuestra fábrica va a ser de 3.482.559 Kwh/año.

## **2.3. ESTUDIO PARA 5840 HORAS AL AÑO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA**

Se va a pasar a calcular la potencia máxima instalada en la planta, para el horario de funcionamiento de nuestra planta de cogeneración, es decir para 5.840 horas, que corresponderán a un funcionamiento de la planta durante todo el año.

### **2.3.1. Reglamento a cumplir**

Cualquier instalación de cogeneración tiene que cumplir con una reglamentación vigente. Ésta reglamentación se refiere al consumo térmico. Con el aprovechamiento del calor del motor térmico deberá tener la instalación un rendimiento eléctrico efectivo mayor que el 55%, pudiendo verse reducido en un 10% si el equipo tiene una potencia menor de 1Mw.

Con esta condición se podrá vender a la red toda su producción de energía eléctrica para que luego la comercializadora se la venda a la fábrica a un precio más bajo de lo que pagaron por ella.

Para que la red esté obligada a comprarla aparte de cumplir ésta condición tendrá que estar dentro del grupo que establece dicho real decreto:

Podrán acogerse al régimen especial establecido en éste Real Decreto aquellas instalaciones de producción de energía eléctrica con potencia eléctrica instalada inferior o igual a 50 MW; que reúnan las siguientes características:

- Instalaciones de auto productores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción térmica de electricidad asociadas a actividades no eléctricas siempre que supongan un alto rendimiento energético y satisfagan los requisitos establecidos.

- Instalaciones que incluyen una central de cogeneración entendiéndose como tales aquellas que combinan la producción de energía eléctrica con la producción de calor útil para su posterior aprovechamiento energético no eléctrico

### **2.3.2. Cálculo del rendimiento eléctrico equivalente**

El rendimiento de las instalaciones viene dado por la fórmula, según el Real Decreto 661/2007:

$$R = (E + V)/Q$$

Donde:

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

- V = producción de calor útil, equivalente a las unidades térmicas de calor útil demandado por la fábrica para sus necesidades. Se consideran, para la evaluación de la demanda de calor útil, los equipos consumidores de energía térmica, a los que abastecerá la instalación de producción eléctrica en régimen especial, ubicados en uno o varios espacios y que forman parte de los activos de la entidad consumidora.



- E = energía eléctrica generada medida en bornes de alternador y expresada como energía térmica, con un equivalente de 1 Kwh. = 860 Kcal.

- Se considera como energía primaria imputable a la producción de calor útil (V) la requerida por calderas de alta eficiencia en operación comercial. Se fija un rendimiento para la producción de calor útil del 90 por ciento que podrá ser revisado en función de la evolución tecnológica de estos procesos.

- El rendimiento eléctrico equivalente (REE) de la instalación se determinará, considerando el apartado anterior, por la fórmula:

$$\text{REE} = E / [Q - (V/0,9)]$$

- Será condición necesaria para poder acogerse al régimen especial regulado en este real decreto, en las instalaciones de producción de las categorías a) y d) del artículo 2.1, que el REE de la instalación, en promedio de un período anual, sea igual o superior al que le corresponda según la siguiente tabla:

Tabla 8: Tipos de combustibles en función de REE

<b>Tipos de Combustibles</b>	<b>REE%</b>
Combustible líquido en centrales con calderas	49
Combustible líquido en motores térmicos	56
Combustibles sólidos	49
Gas natural y GLP en motores térmicos	55
Gas natural y GLP en turbinas de gas y otras tecnologías	59
Otras tecnologías y/o combustibles	59

- En las instalaciones que usen varios combustibles convencionales se aplicará a cada uno el rendimiento mínimo exigido, en función de la proporción de Q y E que les sean técnicamente imputables.

- Para la verificación del REE, tanto para las instalaciones existentes como nuevas, se instalarán equipos de medida locales y totalizadores. Cada uno de los parámetros Q, V y E deberá tener como mínimo un equipo de medida. Por lo tanto para cumplir la condición del rendimiento eléctrico equivalente tenemos que cumplir que el REE sea al menos del 55 %, si superamos 1Mw de potencia instalada, o de al menos el 49,5% si no lo superamos.

## 2.4.CÁLCULO DE LA POTENCIA INICIAL A INSTALAR

Para llevar a cabo éste primer cálculo de la potencia que se puede instalar para cumplir la condición de rendimiento equivalente debemos calcular la potencia máxima que se puede instalar para cumplir éste requerimiento. Para el estudio del presente proyecto vamos a poner como rendimiento eléctrico equivalente para ésta primera aproximación del 64 % para aumentar nuestra eficiencia y exigirnos un poco más de lo que nos exige el reglamento y, así, coger más complemento por eficiencia.

Si decidimos funcionar durante todo el año, es decir 5840 h tendremos:

- Si lo que fijamos es el Ree y lo fijamos en un 64%, partiendo de la fórmula del Ree expuesta anteriormente llegamos a los siguientes resultados:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

En nuestro caso:

- $V = 5.018.570,1$  Kwh, teniendo en cuenta un consumo nocturno de un 10%, se obtiene de:  
 $5576189\text{kwh/año} - 10\%(557618,9) = 5018570,1\text{kwh}.$
- $REE = 64\%.$

- La sustitución de Q por la energía eléctrica partido de 0,4 corresponde a la siguiente expresión  $\eta_e = E/Q$ , despejando Q y suponiendo que éste rendimiento es aproximadamente del 40% sustituimos en la expresión anterior.

$$REE = \frac{E}{\frac{E}{0,4} - \frac{V}{0,9}}$$

Despejando de la siguiente fórmula  $E = 5947934,933$  y como sabemos que  $P = E/h$ , podremos calcular la potencia máxima instalada.

Una vez planteada la ecuación anterior y resolviendo nos dice que debemos usar un motor con una potencia máxima de **1018,48 Kw**.

## 2.5. EXPOSICIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS

Para elegir el motor que convendrá mejor a la instalación, se han estudiado cuatro motores de marcas que diferían.

Las tres marcas de motor estudiadas son:

- Caterpillar
- Deutz
- Jenbacher

En este caso para la potencia máxima instalada (1018,48 kw) los motores que vamos a elegir para cumplir nuestras necesidades en la fábrica son los siguientes:

- Caterpillar, modelo CAT G3516B
- Deutz, modelo TCG 2020 V12
- Jenbacher, modelo JMS 320 – EO1
- Jenbacher, modelo JMS 320 – EO2

A continuación mostraremos sus especificaciones técnicas:

**CAT G3516B:**

Tabla 9: Especificación técnica CAT G3516B

<b>Marca</b>	CATERPILLAR
<b>Modelo</b>	CAT G3516B
<b>Potencia eléctrica (Kw)</b>	1177
<b>Potencia térmica (Kw)</b>	1513
<b>Consumo gas natural (Kw)</b>	3081
<b>Rendimiento eléctrico (%)</b>	38,2
<b>Rendimiento térmico (%)</b>	49,1
<b>Rendimiento total (%)</b>	87,3

**TCG 2020 V12:**

Tabla 10: Especificación técnica TCG 2020 V12

<b>Marca</b>	DEUTZ
<b>Modelo</b>	TCG 2020 V12
<b>Potencia eléctrica (Kw)</b>	1166
<b>Potencia térmica (Kw)</b>	1230
<b>Consumo gas natural (Kw)</b>	2796
<b>Rendimiento eléctrico (%)</b>	41,7
<b>Rendimiento térmico (%)</b>	44
<b>Rendimiento total (%)</b>	85,7

**JMS 320 – EO1:**

Tabla 11: Especificación técnica JMS 320-EO1

<b>Marca</b>	JENBACHER
<b>Modelo</b>	JMS 320 – EO1
<b>Potencia eléctrica (Kw)</b>	970
<b>Potencia térmica (Kw)</b>	1314
<b>Consumo gas natural (Kw)</b>	2559
<b>Rendimiento eléctrico (%)</b>	37,9
<b>Rendimiento térmico (%)</b>	51,4
<b>Rendimiento total (%)</b>	89,3

**JMS 320 – EO2:**

Tabla 12: Especificación técnica JMS 320-EO2

<b>Marca</b>	JENBACHER
<b>Modelo</b>	JMS 320 – EO2
<b>Potencia eléctrica (Kw)</b>	1048
<b>Potencia térmica (Kw)</b>	1310
<b>Consumo gas natural (Kw)</b>	2715
<b>Rendimiento eléctrico (%)</b>	38,9
<b>Rendimiento térmico (%)</b>	46,13
<b>Rendimiento total (%)</b>	87,6

## 2.6 ESTUDIO DE LOS 4 MOTORES

### 2.6.1. Motor Jenbacher, modelo JMS 320 EO1

#### CUMPLIMIENTO DE LA REGLAMENTACIÓN

A continuación analizaremos si la potencia instalada con el motor elegido cumple la reglamentación de éste tipo de instalaciones. Para ello analizaremos el cumplimiento del rendimiento eléctrico equivalente (Ree):

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

Como se dijo anteriormente el objeto del cálculo del rendimiento eléctrico equivalente es el cumplimiento de la condición impuesta en el Real Decreto 661/2007.

Realizamos los cálculos para el motor con la fórmula expuesta anteriormente donde:

- E es la energía eléctrica producida. La energía eléctrica producida se obtiene multiplicando la potencia del motor (970 Kw.) por las 5.840 horas que el motor funciona en un año, luego obtenemos 5.664.800 Kwh./año.

$$E = 970Kwh \times 5840h = 5.664.800 Kwh/año$$

- Q es el consumo de combustible y se calcula a partir de la energía específica de combustible de los motores funcionando a plena carga. El consumo de combustible dado por el fabricante es de 2.559 Kw., si lo multiplicamos



por las 5.840 horas que tiene un año, dando un consumo de 14.946.702 Kwh./año.

$$Q = 2.559Kw \times 5840h = 14.946.702 \text{ Kwh/año}$$

- V es el consumo de calor, que en cada mes quedará limitado por la producción de energía térmica del motor, si la demanda es mayor a la producción, o por la demanda de calor, si la energía térmica producida supera esta demanda. La V, como se aprecia en la siguiente tabla, es de 5.299.647 Kwh./año

$$V = 651.744 + 588.672 + 615.355 + 458.164 + 443.749 + 362.600 + 258.801 + 202.833 + 226.75 + 389.933 + 449.295 + 651.744 = 5.299.647 \text{ Kwh/año}$$

Tabla 13: Necesidades de la fábrica y especificaciones del motor

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	651.744	588.672	651.744	630.720	651.744	630.720
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	651.744	588.672	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	651.744	588.672	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	481.120	434.560	481.120	465.600	481.120	465.600
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.269.446	1.146.596	1.269.446	1.228.496	1.269.446	1.228.496
	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	849.457
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	651.744	651.744	630.720	651.744	630.720	651.744
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	849.457
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	651.744
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	481.120	481.120	465.600	481.120	465.600	481.120
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.269.446	1.269.446	1.228.496	1.269.446	1.228.496	1.269.446

Sustituimos los datos calculados en la fórmula anterior y obtenemos:

$$REE = 0,6254 = 62,54\%$$

Como podemos apreciar, con el motor instalado, cumplimos la restricción del rendimiento eléctrico equivalente,  $REE > 49,5\%$ , para un año de estudio en el que el motor va a funcionar aproximadamente 5840 horas. El REE calculado es de 0,6254.

### **2.6.2. Motor Jenbacher, modelo JMS 320 EO2**

#### *CUMPLIMIENTO DE LA REGLAMENTACIÓN*

Realizamos los cálculos para el motor con la fórmula expuesta anteriormente donde:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

- E es la energía eléctrica producida. La energía eléctrica producida se obtiene multiplicando la potencia del motor (1.048 Kw.) por las 5.840 horas que el motor funciona en un año, luego obtenemos 6.120.320 Kwh/año.

$$E = 1.048Kwx5840h = 6.120.320 \text{ Kwh/año}$$

- Q es el consumo de combustible y se calcula a partir de la energía específica de combustible de los motores funcionando a plena carga. El consumo de combustible dado por el fabricante es de 2.694 Kw., si lo multiplicamos por las 5.840 horas que tiene un año, dando un consumo térmico de 15.733.470 Kwh/año.

$$Q = 2.694Kwx5.840h = 15.733.470Kwh/año$$

- V es el consumo de calor, que en cada mes quedará limitado por la producción de energía térmica del motor, si la demanda es mayor a la producción, o por la demanda de calor, si la energía térmica producida supera esta demanda. La V, como se aprecia en la siguiente tabla, es de 5.293.887 Kwh./año.

$$V = 649.760 + 586.880 + 615.355 + 458.164 + 443.749 + 362.600 + 258.801 + 202.833 + 226.757 + 389.933 + 449.295 + 649.760 = 5.293.887 Kwh/año$$

Tabla 14: Necesidades de la fábrica y especificaciones del motor

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	649.760	586.880	649.760	628.800	649.760	628.800
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	649.760	586.880	649.760	628.800	649.760	362.600
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	649.760	586.880	649.760	628.800	649.760	362.600
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	519.808	469.504	519.808	503.040	519.808	503.040
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.336.267	1.206.951	1.336.267	1.293.162	1.336.267	1.293.162
	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	849.457
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	649.760	649.760	628.800	649.760	628.800	649.760
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	649.760
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	649.760
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	519.808	519.808	503.040	519.808	503.040	519.808
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.336.267	1.336.267	1.293.162	1.336.267	1.293.162	1.336.267

Sustituimos los Datos calculados en la fórmula anterior y obtenemos:

$$REE = 0,6213 = 62,13\%$$

Como podemos apreciar, con el motor instalado, cumplimos la restricción del rendimiento eléctrico equivalente,  $REE > 55\%$ , para un año de estudio en el que el motor va a funcionar aproximadamente 5.840 horas. El REE calculado es de 0,6213.

### 2.6.3. Motor Deutz, modelo TCG 2020 V12

#### CUMPLIMIENTO DE LA REGLAMENTACIÓN

Realizamos los cálculos para el motor con la fórmula expuesta anteriormente donde:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

- E es la energía eléctrica producida. La energía eléctrica producida se obtiene multiplicando la potencia del motor (1166 Kw.) por las 5.840 horas que el motor funciona en un año, luego obtenemos 6.809.440 Kwh./año

$$E = 1166Kwh \times 5840h = 6.809.440Kwh/año$$

- Q es el consumo de combustible y se calcula a partir de la energía específica de combustible de los motores funcionando a

plena carga. El consumo de combustible dado por el fabricante es de 2.796 Kw., si lo multiplicamos por las 5.840 horas que tiene un año, dando un consumo térmico de 16.329.592 Kwh./año.

$$Q = 2796Kw \times 5840h = 16.329.592Kwh/año$$

- V es el consumo de calor, que en cada mes quedará limitado por la producción de energía térmica del motor, si la demanda es mayor a la producción, o por la demanda de calor, si la energía térmica producida supera esta demanda. La V, como se aprecia en la siguiente tabla, es de 5.173.412 Kwh./año.

$$V = 610.080 + 551.040 + 610.080 + 458.164 + 443.749 + 362.600 + 258.801 + 202.833 + 226.757 + 389.933 + 449.295 + 610.080 = 5.173.412Kwh/año$$

Tabla 15: Necesidades de la fábrica y especificaciones del motor

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	610.080	551.040	610.080	590.400	610.080	590.400
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	610.080	551.040	610.080	590.400	610.080	362.600
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	610.080	551.040	610.080	590.400	610.080	362.600
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	578.336	522.368	578.336	559.680	578.336	559.680
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.386.897	1.252.681	1.386.897	1.342.158	1.386.897	1.342.158
	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	849.457
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	610.080	610.080	590.400	610.080	590.400	610.080
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	610.080
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	610.080
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	578.336	578.336	559.680	578.336	559.680	578.336
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.386.897	1.386.897	1.342.158	1.386.897	1.342.158	1.386.897



Sustituimos los datos calculados en la fórmula anterior y obtenemos:

$$REE = 0,73 = 73\%$$

Como se puede apreciar, con el motor instalado, se cumple la restricción del rendimiento eléctrico equivalente,  $REE > 55\%$ , para un año de estudio en el que el motor va a funcionar aproximadamente 5.840 horas. El REE calculado es de 0,73.

#### **2.6.4. Motor Caterpillar, modelo CAT G3516B**

##### *CUMPLIMIENTO DE LA REGLAMENTACIÓN*

Realizamos los cálculos para el motor con la fórmula expuesta anteriormente donde:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

- E es la energía eléctrica producida. La energía eléctrica producida se obtiene multiplicando la potencia del motor (1.177 Kw.) por las 5.840 horas que el motor funciona en un año, luego obtenemos 6.873.680 Kwh./año.

$$E = 1177Kw \times 5840h = 6.873.680Kwh/año$$

- Q es el consumo de combustible y se calcula a partir de la energía específica de combustible de los motores funcionando a

plena carga. El consumo de combustible dado por el fabricante es de 3.081 Kw., si lo multiplicamos por las 5.840 horas que tiene un año, dando un consumo térmico de 17.993.927 Kwh./año.

$$Q=3081Kwx5840h=17.993.927 Kwh/año$$

- V es el consumo de calor, que en cada mes quedará limitado por la producción de energía térmica del motor, si la demanda es mayor a la producción, o por la demanda de calor, si la energía térmica producida supera esta demanda. La V, como se aprecia en la siguiente tabla, es de 5.477.180 Kwh./año.

$$V=693.637+ 625.608+ 615.355+ 458.164+ 443.749+ 362.600+ 258.801+ 202.833+ 226.757+ 389.933+ 449.295+ 750.448=5.477.180Kwh/año$$

Tabla 16: Necesidades de la fábrica y especificaciones del motor

	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	750.448	677.824	750.448	726.240	750.448	726.240
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	693.637	625.608	615.355	458.164	443.749	362.600
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	583.792	527.296	583.792	564.960	583.792	564.960
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.528.251,309	1.380.356,021	1.528.251,309	1.478.952,88	1.528.251,309	1.4789.52,88
	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>DEMANDA TÉRMICA (Kwh)</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	849.457
<b>PRODUCCIÓN TÉRMICA (Kwh.)</b>	750.448	677.824	750.448	726.240	750.448	726.240
<b>DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (recupero todo)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>CALOR RECUPERADO EN EL MOTOR</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	726.240
<b>CALOR RECUPERADO TOTAL</b>	258.801	202.833	226.757	389.933	449.295	726.240
<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Kwh.)</b>	583.792	583.792	564.960	583.792	564.960	583.792
<b>CONSUMO DEL MOTOR (Kwh.)</b>	1.528.251,309	1.528.251,309	1.478.952,88	1.528.251,309	1.478.952,88	1.528.251,309

Sustituimos los datos calculados en la fórmula anterior y obtenemos:

$$\mathbf{REE = 0,6451 = 64,51\%}$$

Como podemos apreciar, con el motor instalado, cumplimos la restricción del rendimiento eléctrico equivalente,  $REE > 55\%$ , para un año de estudio en el que el motor va a funcionar aproximadamente 5.840 horas. El REE calculado es de 0,6451.

## 2.7. CÁLCULO DE CABLES PARA LOS DISTINTOS MOTORES

### 2.7.1. Cable para el motor CAT G3516B

- $\cos = 0,9$
- Coeficiente de simultaneidad = 1
- Distancia =  $l = 6\text{m}$
- Tensión =  $V = 380\text{V}$
- Caída tensión = 5% de acuerdo con el Reglamento de baja tensión.
- Resistividad del conductor =  $\rho = 0,01752$

La potencia más desfavorable que tendrá que soportar este cable es cuando el grupo motorgenerador esté trabajando al 100% de su potencia.

En este caso la potencia y la intensidad que soportará este cable será:

$$P=1177\text{kw}$$

$$I_N = \frac{1177\text{kw}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0,9} = 1986,96 \text{ A}$$

La longitud de la línea es 6 m y es una línea que va enterrada con aislamiento de Polietileno reticulado (XLPE). Se ha escogido una línea de (7x70) mm<sup>2</sup> de cobre por fase de acuerdo con la intensidad de corriente admisible indicada en el Reglamento de baja tensión para cable de cobre enterrado.

Esta sección se ha sido más ajustada que la del resto de cables, ya que como es Baja Tensión la intensidad que circula es

mayor y por tanto la sección de transporte también ha de ser mayor. La sección del neutro ha de ser mayor o igual que 0,5 la sección de una fase (según Reglamento Tensión de Baja). Se ha escogido Cobre en vez de Aluminio a pesar de que es más caro y pesa más debido a que se intenta minimizar el tamaño de la sección del cable para las mismas pérdidas y caída de tensión.

#### Caída de Tensión

$$\rho = \frac{R \times S}{l}$$

$$V = R \times I = \frac{\rho \times l \times I}{S}$$

$$V = \frac{0,01752 \times 6 \times 1986,96}{70} = 2,98V$$

Que representa un 0,78% inferior al 5% admisible. Por lo tanto, el conductor elegido es válido.

#### **2.7.2. Cable para el motor TCG 2020 V12**

- $\cos = 0,9$
- Coeficiente de simultaneidad = 1
- Distancia =  $l = 6m$
- Tensión =  $V = 380v$
- Caída tensión = 5% de acuerdo con el Reglamento de baja tensión.
- Resistividad del conductor =  $\rho = 0,01752$

La potencia más desfavorable que tendrá que soportar este cable es cuando el grupo motorgenerador esté trabajando al 100% de su potencia.

En este caso la potencia y la intensidad que soportará este cable será:

$$P=1166\text{kw}$$

$$I_N = \frac{1166\text{kw}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0,9} = 1968,39 \text{ A}$$

La longitud de la línea es 6 m y es una línea que va enterrada con aislamiento de Polietileno reticulado (XLPE). Se ha escogido una línea de (7x70) mm<sup>2</sup> de Cobre por fase de acuerdo con la intensidad de corriente admisible indicada en el Reglamento de baja tensión para cable de cobre enterrado.

Esta sección se ha sido más ajustada que la del resto de cables, ya que como es Baja Tensión la intensidad que circula es mayor y por tanto la sección de transporte también ha de ser mayor. La sección del neutro ha de ser mayor o igual que 0,5 la sección de una fase (según Reglamento Tensión de Baja). Se ha escogido Cobre en vez de Aluminio a pesar de que es más caro y pesa más debido a que se intenta minimizar el tamaño de la sección del cable para las mismas pérdidas y caída de tensión.

#### Caída de Tensión

$$\rho = \frac{R \times S}{l}$$

$$V = R \times I = \frac{\rho \times l \times I}{S}$$

$$V = \frac{0,01752 \times 6 \times 1968,39}{70} = 2,96V$$

Que representa un 0,78% inferior al 5% admisible. Por lo tanto, el conductor elegido es válido.

### **2.7.3. Cable para el motor JMS320-E01**

- $\cos = 0,9$
- Coeficiente de simultaneidad = 1
- Distancia =  $l = 6m$
- Tensión =  $V = 380v$
- Caída tensión = 5% de acuerdo con el Reglamento de baja tensión.
- Resistividad del conductor =  $\rho = 0,01752$

La potencia más desfavorable que tendrá que soportar este cable es cuando el grupo motorgenerador esté trabajando al 100% de su potencia.

En este caso la potencia y la intensidad que soportará este cable será:

$$P=970kw$$

$$I_N = \frac{970kw}{\sqrt{3} \times 380 V \times 0,9} = 1637,52 A$$



La longitud de la línea es 6 m y es una línea que va enterrada con aislamiento de Polietileno reticulado (XLPE). Se ha escogido una línea de (7x70) mm<sup>2</sup> de Cobre por fase de acuerdo con la intensidad de corriente admisible indicada en el Reglamento de baja tensión para cable de cobre enterrado.

Esta sección se ha sido más ajustada que la del resto de cables, ya que como es Baja Tensión la intensidad que circula es mayor y por tanto la sección de transporte también ha de ser mayor. La sección del neutro ha de ser mayor o igual que 0,5 la sección de una fase (según Reglamento Tensión de Baja). Se ha escogido Cobre en vez de Aluminio a pesar de que es más caro y pesa más debido a que se intenta minimizar el tamaño de la sección del cable para las mismas pérdidas y caída de tensión.

#### Caída de Tensión

$$\rho = \frac{R \times S}{l}$$

$$V = R \times I = \frac{\rho \times l \times I}{S}$$

$$V = \frac{0,01752 \times 6 \times 1637,52}{70} = 2,46V$$

Que representa un 0,64% inferior al 5% admisible. Por lo tanto, el conductor elegido es válido.

#### **2.7.4. Cable para el motor JMS320-E02**

- Cos = 0,9

- Coeficiente de simultaneidad = 1
- Distancia =  $l = 6\text{m}$
- Tensión =  $V = 380\text{v}$
- Caída tensión = 5% de acuerdo con el Reglamento de baja tensión.
- Resistividad del conductor =  $\rho = 0,01752$

La potencia más desfavorable que tendrá que soportar este cable es cuando el grupo motorgenerador esté trabajando al 100% de su potencia.

En este caso la potencia y la intensidad que soportará este cable será:

$$P=1048\text{kw}$$

$$I_N = \frac{1048\text{kw}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0,9} = 1769,19\text{A}$$

La longitud de la línea es 6 m y es una línea que va enterrada con aislamiento de Polietileno reticulado (XLPE). Se ha escogido una línea de (7x70) mm<sup>2</sup> de Cobre por fase de acuerdo con la intensidad de corriente admisible indicada en el Reglamento de baja tensión para cable de cobre enterrado.

Esta sección se ha sido más ajustada que la del resto de cables, ya que como es Baja Tensión la intensidad que circula es mayor y por tanto la sección de transporte también ha de ser mayor. La sección del neutro ha de ser mayor o igual que 0,5 la sección de una fase (según Reglamento Tensión de Baja). Se ha escogido Cobre en vez de Aluminio a pesar de que es más caro y pesa más

debido a que se intenta minimizar el tamaño de la sección del cable para las mismas pérdidas y caída de tensión.

Caída de Tensión

$$\rho = \frac{R \times S}{l}$$

$$V = R \times I = \frac{\rho \times l \times I}{S}$$

$$V = \frac{0,01752 \times 6 \times 1769,19}{70} = 2,66V$$

Que representa un 0,70% inferior al 5% admisible. Por lo tanto, el conductor elegido es válido.

## 2.8. CONCLUSIÓN

Una vez realizado el estudio de los diferentes motores. Se llega a la conclusión de que el mejor motor para la instalación en la planta de cogeneración es el de menor potencia, es decir, Jenbacher, modelo JMS 320 EO1 con una potencia de 970Kw, que es ligeramente inferior a 1Mw.

El rendimiento eléctrico equivalente mínimo exigido por el RD 661/07 desciende en un 10%, hasta el valor de 49,5%.

Esto, junto con el hecho de que este motor posee el REE más aproximado de los estudiados, al REE calculado para la potencia máxima de la instalación. Esto permite obtener un mayor complemento por eficiencia. A todo esto hay que sumarle el altísimo rendimiento térmico de este motor que, aún siendo de menor potencia que los demás motores estudiados, permite satisfacer, sin ningún problema, las necesidades térmicas de la fábrica. Todo esto hace de este motor el más idóneo para la planta de cogeneración.