



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE FINAL DE MÁSTER

**ESTUDIO DE MEJORA ENERGÉTICA
DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Autor:

Sergio Luque Cavallé

Director:

David Dolcet Butsems

Convocatoria de entrega:

Junio de 2020

Contenido de este volumen:

III - ANEXO

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. CÁLCULOS.....	4
1.1. Modificación del sistema de gestión de la energía.....	4
1.2. Sustitución iluminación convencional por led.....	5
1.3. Sustitución de compresor fijo por variable.....	5
1.4. Recuperación de calor de los compresores.....	6
1.5. Reducción de fugas de aire comprimido.....	7
1.6. Recuperador de calor de humos de combustión.....	8
1.7. Aislamiento de válvulas y tuberías de aceite.....	8
1.8. Aislamiento de válvulas y tuberías de agua caliente.....	8
1.9. Recuperación de calor de secadores.....	8
2. SUMARIO.....	10
3. RELACIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y NORMATIVA APLICADA.....	11

1. CÁLCULOS

A continuación, se detallan los cálculos realizados para estimar los costes y el ahorro obtenido con cada una de las diferentes propuestas estudiadas.

Parte de las propuestas se han calculado con los datos disponibles y las estimaciones realizadas in situ. Algunas de las propuestas se han calculado en base a estimaciones de proyectos similares proporcionadas por los distintos proveedores involucrados en las diferentes propuestas.

Los costes estimados para cada inversión corresponden a las valoraciones económicas proporcionadas por cada uno de los proveedores consultados para la ejecución de las diferentes propuestas consideradas.

1.1. Modificación del sistema de gestión de la energía

En base a las estimaciones proporcionadas por la agencia catalana de energía, se determina un ahorro estimado del 2% para el consumo de gas natural y el 1% para el consumo eléctrico.

Ahorro electricidad:

$$\frac{1}{100} \cdot 6.732.845 \frac{kWh}{año} = 67.328,45 \frac{kWh}{año} \approx \mathbf{67.350 \frac{kWh}{año}}$$

Ahorro gas natural:

$$\frac{2}{100} \cdot 15.480.604 \frac{kWh}{año} = 309.612,1 \frac{kWh}{año} \approx \mathbf{309.600 \frac{kWh}{año}}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$67.350 \frac{kWh}{año} \cdot 0,357 \frac{kgCO_2}{kWh} + 309.600 \frac{kWh}{año} \cdot 0,252 \frac{kgCO_2}{kWh} = \mathbf{102,06 \frac{TnCO_2}{año}}$$

Ahorro económico:

$$67.350 \frac{kWh}{año} \cdot 0,0715 \frac{€}{kWh} + 309.600 \frac{kWh}{año} \cdot 0,02431 \frac{€}{kWh} \approx \mathbf{12.350 \frac{€}{año}}$$

1.2. Sustitución iluminación convencional por led

La iluminación led es muy eficiente respecto a la iluminación convencional, obteniéndose ahorros energéticos del 50%. Se estima un ahorro conservador de un 35%.

Ahorro electricidad:

$$\frac{35}{100} \cdot 450.341 \frac{kWh}{año} = 136.690,8 \frac{kWh}{año} \approx \mathbf{136.700 \frac{kWh}{año}}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$136.700 \frac{kWh}{año} \cdot 0,357 \frac{kgCO_2}{kWh} = \mathbf{48,80 \frac{TnCO_2}{año}}$$

Ahorro económico:

$$136.700 \frac{kWh}{año} \cdot 0,0715 \frac{€}{kWh} \approx \mathbf{9.750 \frac{€}{año}}$$

1.3. Sustitución de compresor fijo por variable

Los 3 compresores presentes en la planta son iguales. Se estima el consumo anual de cada compresor:

$$\frac{1.025.280 kWh}{3} = 341.760 \frac{kWh}{año}$$

Dejan de funcionar 2 compresores:

$$341.760 \cdot 2 = 683.520 \frac{kWh}{año}$$

Consumo del nuevo compresor variable, según proveedor:

$$359.720 \frac{kWh}{año}$$

Nuevo consumo total:

$$341.760 + 359.720 = 701.480 \frac{kWh}{año}$$

Ahorro electricidad:

$$1.025.280 - 701.480 = 323.800 \frac{kWh}{año}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$323.800 \frac{kWh}{año} \cdot 0,357 \frac{kgCO_2}{kWh} = 115,60 \frac{TnCO_2}{año}$$

Ahorro económico:

$$323.800 \frac{kWh}{año} \cdot 0,0715 \frac{€}{kWh} \approx 24.700 \frac{€}{año}$$

1.4. Recuperación de calor de los compresores

Según proveedor[1], se tiene la siguiente gráfica para el ahorro potencial anual en gas natural incorporando un sistema de recuperación de calor en los compresores.

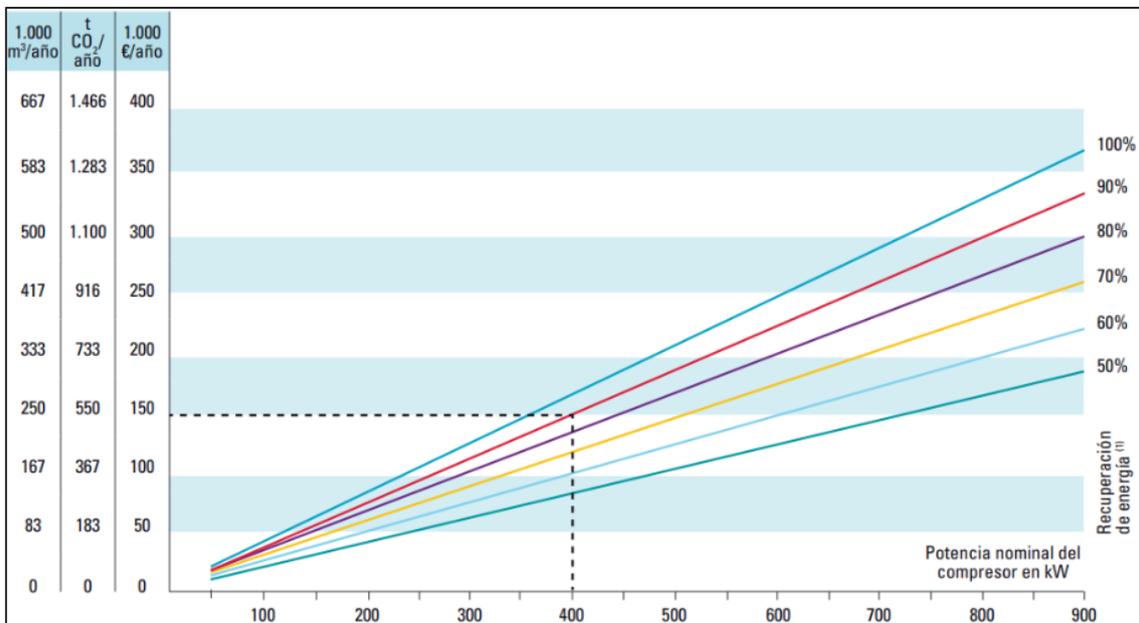


Figura 1: Gráficas Atlascopco para ahorro potencial anual en gas natural.[1]

Trabajando con compresores de 110 kW de potencia nominal y estimando un 75 % de recuperación de energía, se estiman 60.000 m³ de ahorro potencial anual de gas natural.

Ahorro gas natural:

$$60.000 \text{ m}^3 \cdot \frac{11,70 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \text{ GN}}{1 \text{ m}^3 \text{ GN}} = 702.000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \text{ GN} \approx \mathbf{700.000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$700.000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,252 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = \mathbf{176,40 \frac{\text{TnCO}_2}{\text{año}}}$$

Ahorro económico:

$$700.000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,02431 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \approx \mathbf{17.000 \frac{\text{€}}{\text{año}}}$$

1.5. Reducción de fugas de aire comprimido

En función de las revisiones de la instalación de aire comprimido realizadas in situ, se estima un 5% de fugas de aire comprimido.

Ahorro electricidad:

$$\frac{5}{100} \cdot 1.025.280 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 51.264 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \approx \mathbf{51.300 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$51.300 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,357 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = \mathbf{18,31 \frac{\text{TnCO}_2}{\text{año}}}$$

Ahorro económico:

$$51.300 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,0715 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \approx \mathbf{3.650 \frac{\text{€}}{\text{año}}}$$

1.6. Recuperador de calor de humos de combustión

La propuesta presentada en el documento *I-MEMORIA* para la recuperación de calor de los humos de combustión corresponde a los datos recibidos por parte del proveedor.

1.7. Aislamiento de válvulas y tuberías de aceite

La propuesta presentada en el documento *I-MEMORIA* para el aislamiento de válvulas y tuberías de aceite corresponde a los datos recibidos por parte del proveedor.

1.8. Aislamiento de válvulas y tuberías de agua caliente

La propuesta presentada en el documento *I-MEMORIA* para el aislamiento de válvulas y tuberías de agua caliente corresponde a los datos recibidos por parte del proveedor.

1.9. Recuperación de calor de secadores

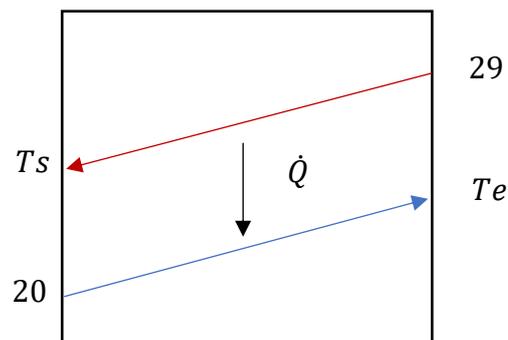
Según proveedor, se consigue un 75% de recuperación de energía.

Se considera un aire de entrada a 20 °C.

Se considera un caudal de 1,2 kg/s.

Se considera un aire de salida a 29 °C.

$$\varepsilon = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - 20)}{(\dot{m} \cdot C_p)_{max} \cdot (29 - 20)} = 0,75$$



$$T_e = 26,8^\circ\text{C}$$

Ahorro electricidad (se consideran 340 días de 24 h de trabajo al año):

$$\dot{Q} = 1 \frac{J}{gK} \cdot 1.200 \frac{g}{s} \cdot (26,8 - 20)^\circ\text{C} = 8,20 \text{ kW} \rightarrow 66.900 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Ahorro emisiones CO₂:

$$66.900 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,252 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 16,86 \frac{\text{TnCO}_2}{\text{año}}$$

Ahorro económico:

$$66.900 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,02431 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \approx 1.600 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

2. SUMARIO

Los costes estimados para cada inversión corresponden a las valoraciones económicas proporcionadas por cada uno de los proveedores consultados para la ejecución de las diferentes propuestas consideradas.

Tabla 1: Resumen económico de propuestas.

Nº	Propuesta	Inversión	Ahorro Energético		*Ahorro Económico	Retorno Inversión	Ahorro Emisiones	VAN (10 años)	TIR
		[€]	[kWh/año]	Fuente	[€/año]	[años]	[TnCO2/año]	[€]	[%]
1	Modificación sistema de gestión energético	34.850	67.350 309.600	Electricidad Gas natural	12.350	2,8	102,06	70.498	33%
2	Sustitución iluminación convencional por LED	70.400	136.700	Electricidad	9.750	7,2	48,80	12.769	6%
3	Sustitución de compresor fijo por variable	78.000	323.800	Electricidad	23.150	3,4	115,60	119.474	27%
4	Recuperación de calor de los compresores	29.800	700.000	Gas natural	17.000	1,8	176,40	115.213	56%
5	Reducción de fugas de aire comprimido	3.150	51.300	Electricidad	3.650	0,9	18,31	27.985	116%
6	Recuperador de calor de humos de combustión	35.000	520.000	Gas natural	12.650	2,8	131,04	72.907	34%
7	Aislamiento de válvulas y tuberías de aceite	3.500	146.200	Gas natural	3.550	1,0	36,84	26.782	101%
8	Aislamiento de válvulas y tuberías agua caliente	2.900	112.550	Gas natural	2.750	1,1	28,36	20.558	95%
9	Recuperación de calor de secaderos	7.000	66.900	Gas natural	1.650	4,2	16,86	7.075	20%
TOTAL		264.600	1.279.150 1.155.250	Electricidad Gas Natural	86.500		674,28		

*Precios energéticos para el cálculo de ahorro económico: Electricidad 0,07150 €/kWh; Gas Natural 0,02431 €/kWh.

3. RELACIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y NORMATIVA APLICADA

- [1] “Recuperador de calor compresor.” [Online]. Available: https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/er-90-900/2935458412_ER_90-900_Energy_recovery_leaflet_ES_LR.pdf. [Accessed: 20-May-2020].