

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

Auditoría energética y propuestas de mejora de la eficiencia en una empresa de maquinaria agrícola

Autor: Sacha Gómez Romero

Tutores: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernandez

Dep. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Auditoría energética y propuestas de mejora de la eficiencia en una empresa de maquinaria agrícola

Autor:
Sacha Gómez Romero

Tutores:
Manuel Burgos Payán
Juan Manuel Roldán Fernández

Dep. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Auditoría energética y propuestas de mejora de la eficiencia en una empresa de maquinaria agrícola

Autor: Sacha Gómez Romero

Tutores: Manuel Burgos Payán
Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi familia, por ayudarme en todos los aspectos de la vida. Agradecimiento especial a mi padre, que sin su esfuerzo sobrehumano no estaría escribiendo estas palabras.

A mis tutores, Don Manuel Burgos y Juan Manuel Roldán, por darme la oportunidad de realizar este proyecto que tanto deseaba.

A mis amigos de la Universidad de Málaga que me acompañaron en el cambio a Sevilla. Con vosotros empezar de nuevo no ha sido nada complicado. Gracias.

Agradecer a mis compañeros de la especialidad de Ahorro y Eficiencia. A pesar de todos los momentos de duro trabajo, habéis conseguido que este año sea inolvidable. Nos volveremos a encontrar.

A Gloria Jiménez, por ayudarme en todo momento, por enseñarme tantas cosas, por hacerme mejor persona. Gracias por todo.

Y a Antonio Rodríguez, por todos los momentos vividos en la realización de este proyecto. Sin ti no hubiese sido nada igual. Gracias por darme la oportunidad de trabajar a tu lado.

Sacha Gómez Romero

Sevilla, 2016

Resumen

En este proyecto se ha realizado una auditoria energética a la empresa Moresil SL, empresa del sector industrial dedicada a la fabricación de maquinaria agrícola situada en Posadas, Córdoba.

Para la realización de esta auditoria energética, la empresa ha proporcionado todos los datos necesarios para poder realizar un estudio en profundidad de las características de su proceso mediante facturas, datos medidos y estudios previos realizados a la empresa.

Ademas de todo ello, se han realizado visitas a la fábrica para conocer de primera mano la situación actual de las instalaciones. También se han realizado diversas entrevistas tanto con el director de la empresa como con diversos operarios de las naves para que den su punto de vista sobre como se encuentran las instalaciones y sugerencias de mejora de alguna de las mismas para tenerlas en cuenta a la hora de proponer las medidas de eficiencia energética para la empresa.

Una vez realizadas las visitas a las instalaciones y hechas las entrevistas se han propuesto los distintos proyectos de eficiencia energética posibles para cada una de las ineficiencias observadas en el proceso.

Los proyectos han sido valorados desde un punto de vista energético, obteniendo el ahorro anual de cada uno de ellos, así como su viabilidad económica, teniendo en cuenta la inversión realizada y el tiempo de retorno de esta a partir de los ahorros económicos anuales.

Para ello, se han aplicado los conocimientos adquiridos en el grado, de tal manera que los proyectos sean aplicaciones reales de casos estudiados en la escuela.

Abstract

This project has been carried out an energy audit the company Moresil SL, industrial company dedicated to the manufacture of agricultural machinery located in Posadas, Córdoba.

For the realization of this energy audit, the company has provided all the information necessary to make a thorough study of the characteristics of the process through invoices, measured data and previous studies to the company

Besides all this , they have visited the factory to see first hand the current situation of the facilities. There have also been several interviews with both the director of the company and with various operators of ships to give their view on how are the facilities and suggestions for improvement in some of them to take them into account when propose energy efficiency measures for the company.

After making the site visits and interviews made have been proposed various possible projects for each of the inefficiencies observed in the process energy efficiency.

The projects have been valued from an energy point of view , achieving annual savings of each , as well as its economic viability , taking into account the investment and the return time of this from the annual economic savings.

To do this , they have applied the knowledge acquired in the degree , so that projects are real applications of cases studied in school.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xviii
Notación	xxi
1 Introducción	23
1.1 La auditoría energética y su importancia en el sector industrial	24
1.2 Real Decreto RD 56/2016	26
2 Objetivo del proyecto	28
3 Antecedentes	31
3.1. Datos relevantes de la empresa auditada	32
3.2. Instalaciones	33
4 Auditoría energética	35
4.1. Descripción de la auditoría	35
4.2. Datos recopilados	36
4.2.1 Desglose de consumos de energía	36
4.2.2 Grandes consumidores	38
4.2.3 Índices de consumo	39
4.2.4 Tarifa eléctrica	41
4.2.4.1 Tarifa contratada	41
4.2.4.2 Perfil de consumo eléctrico	42
5 Proyectos de mejora de la eficiencia	45
5.1. Automatización de las puertas del horno de la cadena de pintura. Simulación con el programa informático CoDeSys	45
5.1.1 Situación inicial del horno de polimerizado	45
5.1.2 Análisis de las ineficiencias	46
5.1.3 Propuesta de mejora. Automatización de la apertura y cierre de puertas	48
5.1.3.1 Elementos para la visualización en CoDeSys	48
5.1.3.2 Programación de la visualización	49
5.1.3.3 Simulación del control de la apertura y cierre	51
5.1.3.4 Modos de operación	53
5.1.3.5 Análisis económico de la propuesta	58

5.2. Intercambiador de calor para el calentamiento del agua de la sección de desengrase y fosfatado de la cadena de pintura	60
5.2.1 Situación inicial de la zona de desengrase y fosfatado	60
5.2.2 Diseño del intercambiador de calor	60
5.2.2.1 Características generales del intercambiador de calor	60
5.2.2.2 Parámetros característicos del intercambiador de calor	61
5.2.3 Análisis económico de la propuesta	65
5.3 Cambio de combustible en la cadena de pintura del gasoil actual a gas propano	66
5.3.1 Ventajas del consumo de gas propano frente al gasoil	66
5.3.2 Análisis económico de la propuesta	67
6 Conclusiones	70
Bibliografía	71
Anexos	72

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Producción de cereales en los dos últimos años	32
Tabla 3.2 Producción de maquinaria de olivos en los dos últimos años	32
Tabla 4.1 Desglose de consumos de las distintas fuentes de energía	37
Tabla 4.2 Principales consumidores de las instalaciones	39
Tabla 4.3 Índice de consumo global de las instalaciones en los dos últimos años	40
Tabla 4.4 Índices de consumo característicos de la producción para el olivar de los dos últimos años	40
Tabla 4.5 Índices de consumo característicos de la producción para de cereales de los dos últimos años	41
Tabla 4.6 Franjas horarias de cada periodo para las distintas temporadas	42
Tabla 4.7 Características de la facturación eléctrica de la empresa contratada	42
Tabla 5.1 Costes inversión proyecto de automatización	58
Tabla 5.2 Comparación de emisiones de los combustibles líquidos y gaseosos	65
Tabla 5.3 Comparación de los poderes caloríficos inferiores de ambos combustibles	66
Tabla 5.4 Comparación de los rendimientos con los dos combustibles estudiados	67
Tabla 5.5 Comparación de los costes anuales con cada uno de los combustibles	67
Tabla 5.6 Ahorro producido con la reducción de contaminante	68

Índice de Figuras

Figura 1.1. Desglose del consumo mundial de energía final.	24
Figura 1.2. Desglose del consumo en UE-27 de energía final.	24
Figura 1.3 Comparación de la evolución de los ahorros con y sin SGE	26
Figura 3.1 Instalaciones de Moresil S.L desde la carretera de Palma del Río.	31
Figura 3.2 Vista en planta de las instalaciones.	33
Figura 4.1 Porcentaje de consumo de las distintas fuentes	37
Figura 4.2 Perfil de consumo eléctrico mensual de los dos últimos años	38
Figura 4.3 Perfil de consumo de gasoil mensual en los dos últimos años	38
Figura 4.4 Perfil de consumo eléctrico anual de los últimos años	42
Figura 4.5 Perfil de consumo diario de potencia eléctrica (7 de agosto)	43
Figura 4.6 Perfil de consumo diario de energía activa (12 de agosto)	44
Figura 5.1 Ensayo de la evolución de la temperatura en el interior del horno a distintas alturas	47
Figura 5.2 Ejemplo de la POU <i>PUERTAS</i>	49
Figura 5.3 Ejemplo de la POU <i>MANUAL</i>	50
Figura 5.4 Ejemplo de la POU <i>CONTROL</i>	51
Figura 5.5 Ejemplo de la lectura de variables para los temporizadores de la POU <i>VISUI</i>	52
Figura 5.6 Botonera del control automático	53
Figura 5.7 Botonera del control manual	53
Figura 5.8 Botón de activación de modos	54
Figura 5.9 Botón de activación del modo de emergencia	54
Figura 5.10 Ejemplo de la POU <i>MODOS</i>	55
Figura 5.11 Ejemplo de la POU <i>MODO_NORMAL</i> con el modo automático en ejecución	56
Figura 5.12 Ejemplo de la simulación de la apertura y cierre con el programa CoDeSys	57
Figura 5.13 Variación de la temperatura de los fluidos en el intercambiador	60

A_e	Área exterior de los tubos
A_{int}	Área interior de los tubos
F_{se}	Factor de ensuciamiento por el exterior de los tubos
F_{si}	Factor de ensuciamiento por el interior de los tubos
h_{ext}	Coefficiente de película exterior. Gases de combustión
h_{int}	Coefficiente de película interior. Agua
R_{ad}	Resistencia debido al espesor de los tubos

1 INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de energía y hacer un uso razonable de ella es actualmente uno de los aspectos principales para el desarrollo de nuestra sociedad. En nuestro horizonte más cercano podremos observar el fin de los combustibles no renovables ya que se espera un agotamiento de las reservas probadas de petróleo para el 2050 mientras que en el caso del gas natural se espera un agotamiento de sus reservas para el 2075.

Con este problema en el horizonte las diferentes administraciones han implementado políticas para incentivar el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores para reducir el consumo de energía final. Con estas políticas se reduce la factura eléctrica, lo que provoca una reducción de combustibles fosiles y su consecuente reducción de contaminantes.

Por todo esto, la estrategia de las administraciones debe ser el promover la eficiencia energética, ya que tiene un efecto doblemente favorable sobre la economía del país y el medio ambiente.

1.1 La auditoría energética y su importancia en el sector industrial.

El consumo de energía final de una sociedad se concentra en tres grandes sectores:

- Industria
- Transporte
- Edificación

El porcentaje de consumo de energía final en cada uno de los sectores varía dependiendo del tipo de sociedad que la consume. En el mundo se consumen 8677 Mtep de las cuales el 27.9% de estas van destinadas a procesos industriales, mientras que si realizamos el estudio centrado en nuestro continente, en Europa se observa que el porcentaje de energía consumida por el sector industrial es del 25% de las 1152 Mtep.

**Consumo Mundial de Energía Final
(8677Mtep)**

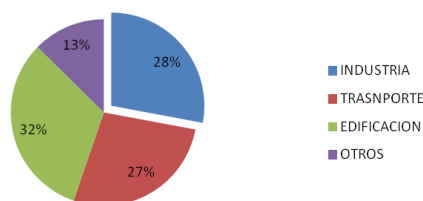


Figura 1.1. Desglose del consumo mundial de energía final. Fuente: IEA

**Consumo en UE-27 de Energía final
(1152 Mtep)**

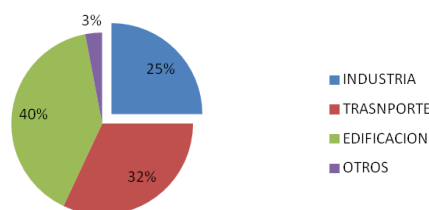


Figura 1.2. Desglose del consumo en UE-27 de energía final. Fuente: Eurostat

Por tanto la realización de una auditoría energética en el sector industrial ayuda a conocer cómo se consume una buena parte de la energía final por lo que es importante la realización de estas. Los estudios de ahorros energéticos son una interesante vía para la inclusión de la eficiencia en la industria, de modo que aumenta el conocimiento del consumo energético de estas.

La auditoría es una manera de identificar dónde el consumo energético se produce de manera ineficiente, de manera que el consumo energético del proceso no se ajusta a la demanda necesaria del mismo. Una vez analizado el proceso se identifican las posibles mejoras para cubrir estas ineficiencias, exponiendo en cada uno de los casos ahorros producidos, desde el punto de vista energético y económico.

En una auditoría energética existen varias vías para la obtención de los ahorros energéticos.

Por una parte se busca que el consumo real del proceso se adecue al consumo nominal previsto por la planta. Esto se consigue con un buen mantenimiento de las instalaciones, así como la revisión de los equipos.

También es importante aprovechar corrientes residuales del proceso para minimizar la demanda, así como optimizar la operación de los servicios energéticos.

Por último se plantea la posibilidad de introducción de nuevas tecnologías que reduzcan el consumo nominal de la planta aumentando la eficiencia del proceso. Es aquí donde entran en juego las energías renovables, ya que la producción con este tipo de energía reduce el consumo de otras fuentes de energía, aumentando así el rendimiento del proceso.

Todo esto se realiza con la finalidad de obtener un consumo de energía óptimo para cada proceso.

Por ello en una auditoría energética se evalúan las medidas de ahorro no solo desde el punto de vista energético, si no también desde el punto de vista económico, analizando por tanto las inversiones necesarias para cada medida, así como el periodo de retorno de cada una de ellas.

De esta manera se analizan las medidas desde un criterio doble, energético y económico, de tal forma que se propone la implantación de aquellas propuestas más interesantes para el proceso.

Para entender cuales son las soluciones más favorables para el proceso primero se tiene que definir qué es el consumo energético de qué variables depende.

El consumo energético es el cociente entre la demanda del proceso y el rendimiento de los equipos que lo componen.

$$\text{Consumo } (C) = \frac{\text{Demanda } (D)}{\text{Rendimiento } (\eta)} \quad (1-1)$$

Por tanto, para que el consumo del proceso se reduzca se debe intentar actuar sobre dos variables.

Por una parte habría que intentar reducir la demanda del proceso con la recuperación de corrientes residuales, con lo que reduciríamos la demanda de energía externa al proceso.

Por otro lado tenemos que con un aumento del rendimiento de la maquinaria o del proceso como tal, provocaría una disminución del consumo tal y como indica la ecuación expuesta.

La realización de un estudio de ahorros energéticos no es una medida que aplique de manera puntual al proceso, si no que tiene que mantenerse en el tiempo.

Esto se realiza mediante la concienciación de los trabajadores mediante cursos específicos de eficiencia energética, haciéndoles ver a los trabajadores la importancia de este seguimiento y concienciándolos de las pérdidas provocadas por la falta de este.

También es importante la implantación de un sistema de gestión energética (SGE) lo que nos permite obtener reducciones en los consumos energéticos mantenidas en el tiempo, lo cual se convierte en un complemento fundamental a la realización de los ahorros derivados de la auditoría energética.

1.2 Real Decreto RD 56/2016

Con el horizonte 2020, en el que todos los estados miembros de la Union Europea se comprometieron a aumentar la eficiencia energética en un 20% antes de llegar a este año se puso de manifiesto la importancia de la eficiencia energética como estrategia europea para el crecimiento sostenible.

Debido a que el Consejo Europeo previó ya en 2011 que este objetivo del 20% para 2020 iba en el camino de no cumplirse, se aprobó una Directiva Europea denominada Directiva 2012/27/UE para que se cumpliera con los objetivos marcados

Dicha directiva fue transpuesta por España cuatro años después mediante un Real Decreto el cual tiene dos principales objetivos.

1. Optimización de la demanda mediante actuaciones que se realicen en los procesos productivos e impulsar las medidas de ahorro y eficiencia en la energía primaria consumida en el país.
2. Tener un numero considerable de profesionales que apliquen de manera efectiva la directiva europea (Directiva 2012/27/UE)

Este Real Decreto es de cumplimiento obligatorio para las empresas de de mas de 250 empleados o facturación de mas de 50 millones de euros anuales, ya sea como una única sociedad o grupo de estas. La ley exime a las pequeñas y medianas empresas de realizar estas auditorias

Hay dos maneras de cumplir este Real Decreto.

La primera es mediante la realización de una auditoria energética cada 4 años en la que se estudie un minimo del 85% del total del consumo energético de la empresa.

La segunda es mediante la implantación de un Sistema de Gestion Energética (ISO 50001).

Con un sistema de gestión energética conseguimos que los ahorros se prolonguen a lo largo del tiempo. Se crea de esta manera una idea en la empresa sobre en qué consiste la eficiencia y existe una concienciación sobre ella. A través de este sistema de gestión también se consiguen detectar los desvíos frente a los objetivos de manera rápida.

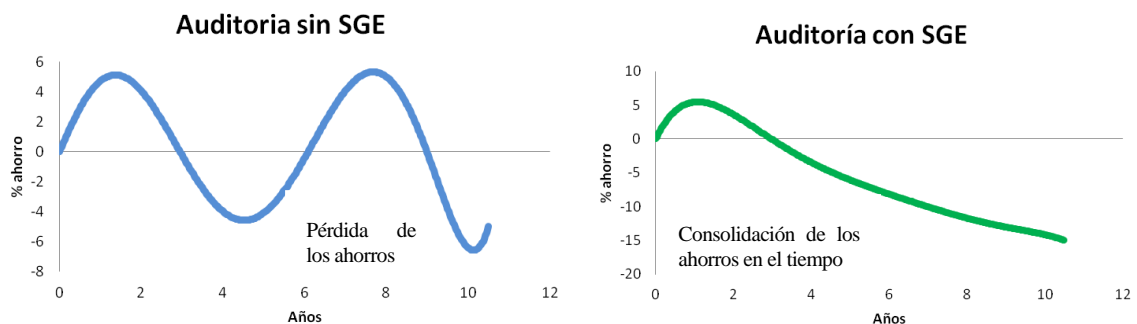


Figura 1.3 Comparación de la evolución de los ahorros con y sin SGE

2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es realizar una auditoria energética a una empresa del sector industrial, proponiendo las mejoras en la eficiencia energética que se crean convenientes para el caso estudiado aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo del grado.

Para ello se ha ido recopilando información del proceso y de las características de la empresa a lo largo de las diversas visitas realizadas a esta, con la intención de aproximar el proyecto a la realidad de la empresa y así realizar los estudios de tal manera que tengan una aplicación real.

La motivación de este proyecto es la de aproximarse a la realidad del sector industrial en la calle, observando los procesos, aprendiendo de los operarios que trabajan en él y comentando con ellos las posibles mejoras que puedan existir en la realización de sus trabajos.

De tal manera que, una vez recopilada la información necesaria y habiendo estudiado el proceso en profundidad se evaluarán las posibles mejoras del mismo, empleando los conocimientos adquiridos en los diversos ámbitos de la ingeniería a lo largo del grado.

La valoración de estas medidas de mejora de la eficiencia se realizará desde un punto de vista tanto energético como también desde un punto de vista económico, evaluando la inversión necesaria a realizar en cada una de ellas, así como el tiempo de retorno esperado de la misma, teniendo en cuenta el ahorro producido debido a esta medida.

3 ANTECEDENTES

En este apartado se muestran datos relevantes de la empresa auditada, tales como la localización y algunas características del sector al que pertenece.

También se expone la situación inicial de la empresa, en la que se detalla las características del proceso que se realiza en las instalaciones diferenciando entre las distintas naves y los procesos llevados a cabo en cada una de ellas.

3.1 Datos relevantes de la empresa auditada.

La empresa sujeta al estudio energético de este proyecto es Moresil S.L.

Se encuentra en la localidad cordobesa de Posadas, en la carretera de Palma del Río, situada en el kilómetro 31,5.



Figura 3.1 Instalaciones de Moresil S.L desde la carretera de Palma del Río. Fuente: Google

Moresil S.L es una empresa que se dedica a la producción de maquinaria agrícola. Su producción se centra en cabezales para maquinaria agrícola, recolectores para el olivar y limpiadoras de cereales.

Esta producción se divide en dos temporadas: Los cabezales para los cereales se fabrican desde mayo hasta noviembre con una producción anual entorno a las 200 unidades.

PRODUCCIÓN CEREALES		
Año	2014	2015
Cabezales (uds)	237	203

Tabla 3.1 Producción de cereales en los dos últimos años

El resto del año está dedicado principalmente a la fabricación de maquinaria del olivar, de la que suelen fabricar entorno a 40 unidades anuales.

PRODUCCIÓN MAQ OLIVOS		
Año	2014	2015
Maq olivar (uds)	34	43

Tabla 3.2 Producción de maquinaria de olivos en los dos últimos años

La empresa es referente en el sector de la fabricación de maquinaria agrícola a nivel mundial, exportando sus productos a diversos países como Ucrania, Mexico y Francia entre otros.

También cuentan con un departamento de investigación y desarrollo (I+D) en el que diseñan sus propia maquinaria agrícola para su posterior comercialización.

3.2 Instalaciones

Las instalaciones cuentan con una superficie total de 21000 m² de los cuales 11500 m² son construidos. Estas se dividen en distintas naves:

- Nave 1. Diseñada para que se corten las barras a la entrada de las instalaciones para su posterior manipulación. Tiene una superficie de 300 m².
- Nave 2. En esta se encuentran las punzonadoras y las flexadoras. Tiene la misma superficie que la nave 1, 300 m².
- Nave 3. En esta nave se encuentra la maquina mas importante de las instalaciones, la cortadora laser. También esta dedicada a los centros de mecanizado. Con la inclusión del almacén de piezas cuenta también con 300 m² de superficie.
- Nave 4. Dedicada a la zona de ensamblaje y en ella se localizan las grandes gruas que mueven las piezas mas pesadas. Tiene una superficie total de 2400 m²
- Nave 5. En ella se encuentran la oficina técnica, el robot y los puestos de soldadura y la cadena de ensamblaje. Tiene una superficie de 800 m²
- Oficinas. Consta de dos plantas de 110 m² cada una de ellas.
- Cadena de pintura. Tiene una superficie de 1000 m² y en ella es donde se realiza el proceso de pintado de las piezas. Los detalles de la cadena de pintura se detallan en el anexo 1.

- Sala de exposición. Cuenta con una superficie de 1250 m² y está dedicada a la muestra de las piezas fabricadas finalizadas para su venta.



Figura 3.2 Vista en planta de las instalaciones. Fuente: Google

En estas instalaciones, el proceso productivo no se realiza siguiendo siempre un patrón en serie, si no que la utilización de las naves y la fabricación de piezas y maquinarias se rige mediante la demanda de estas que los clientes desean satisfacer. Por ello, habrá temporadas en las que el trabajo en algunas naves sea muy intenso, mientras que en otras hay escasez él debido a la demanda del mercado.

Por lo tanto, la fabricación se produce en paralelo y de manera independiente en muchos de los procesos que se realizan en las instalaciones.

4 AUDITORÍA ENERGÉTICA

No sabemos lo que nos pasa y eso es precisamente lo que nos pasa.

- José Ortega y Gasset -

En este apartado se aborda la realización de la auditoría. Para ello se expone la metodología a seguir para la consecución de un buen análisis energético de la empresa mediante los pasos que se deben realizar de manera cronológica.

Una vez expuesta y realizada esta metodología de recopilación de la información necesaria, se exponen los datos obtenidos en la realización de la auditoría, en los que se incluyen consumos globales anuales, índices de consumo relevantes para el análisis de la situación inicial de la empresa y un análisis de las facturas eléctricas actuales, incluyendo tipo de tarifa y perfil de consumo eléctrico.

4.1 Metodología de la auditoría

Para la realización de una correcta auditoría se deben seguir unos pasos que lleven a este fin. Para ello se diferencian ciertas fases:

- Solicitud de datos a la empresa
- Visita de las instalaciones
- Evaluación de la situación inicial de la empresa auditada.
- Identificación de las posibles medidas de ahorro energético.
- Evaluación de las medidas.

Solicitud de datos a la empresa

Para poder realizar un análisis previo antes de visitar las instalaciones, es necesario que la empresa auditada proporcione una serie de datos para conocer previamente información referente sobre las instalaciones, el proceso llevado a cabo en ellas, datos los principales equipos así como de datos referentes a facturación y consumos.

Visita de las instalaciones

Previa revisión de la documentación inicial aportada por la empresa, se realiza una visita a las instalaciones con el fin de obtener toda la información necesaria. Para ello se realizan diversas entrevistas con los operarios de la empresa y se solicitarán las medidas de ahorro energético realizadas en situaciones anteriores por otros profesionales (empresa de servicios energéticos).

Una vez esto, se realiza un análisis previo de la situación inicial de la empresa a pie de fábrica, observando el proceso y generando posibles medidas de mejora de la eficiencia energética.

Evaluación de la situación inicial de la empresa auditada

Tras la obtención de los datos necesarios mediante la visita a las instalaciones se puede realizar una evaluación detallada de la situación inicial de la empresa mediante un análisis de los consumos o la obtención de algunos de los indicadores energéticos más importantes para poder evaluar la situación actual.

Es muy importante realizar este análisis de manera precisa ya que a partir de él, se obtendrán las posibles medidas de eficiencia energética a realizar a la empresa auditada y con ello el ahorro tanto energético como económico de cada una de estas medidas.

Identificación de las posibles medidas de ahorro energético

Ya que se ha realizado la evaluación de la situación inicial, se estudian las posibles mejoras en el proceso de la empresa. Para ello se exponen los diferentes proyectos para la mejora de la eficiencia y se obtienen los que son más ventajosos para el caso estudiado.

Evaluación de las medidas

Una vez se han identificado las medidas de mejora de la eficiencia, se evalúan desde un punto de vista energético y económico, estimando los costes derivados de la implantación del proyecto así como el tiempo de retorno de la inversión, fundamental para estudiar la viabilidad del proyecto.

4.2 Datos recopilados de la empresa.

En este apartado se expone el desglose de los distintos consumos existentes en la empresa así como los números índice más relevantes para entender las características de consumo de la empresa. Por otra parte se explica la tarifa eléctrica de la empresa en profundidad, así como los perfiles de consumo eléctrico para entender el patrón de consumo del proceso.

4.2.1 Desglose de consumos de energía.

Se ha realizado un análisis del desglose de consumo de energía anual de la empresa en las distintas fuentes de energía empleadas en las instalaciones. Se han obtenido los valores correspondientes a consumo eléctrico y los dos tipos de gasoil empleados, gasoil y gasoil C, para los dos últimos años completos.

Se diferencian dos tipos de gasoil empleado. Por una parte está el gasoil proveniente del consumo de los automóviles. Este debe ser incluido ya que es importante para el cálculo de los índices de consumo. Por otro lado se encuentra el consumo de gasoil calefacción que es empleado para el proceso como, por ejemplo, en el horno de la cadena de pintura o el precalentamiento del agua a la entrada de las piezas para su limpieza.

	Consumo Goblal			
	2014		2015	
	MWh	%	MWh	%
Electricidad	564,1	29,0	572,0	28,0
Gasoiil C	811,1	41,7	884,2	43,3
Gasoiil	569,9	29,3	586,8	28,7

Tabla 4.1 Desglose de consumos de las distintas fuentes de energía

El consumo anual de energía se situa entorno a 2000 MWh, siendo el gasoiil C el mayor consumidor en las instalaciones con un porcentaje superior al 40%.

Desglose consumos energéticos (2014)

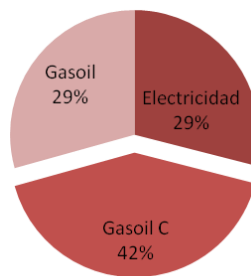


Figura 4.1 Porcentaje de consumo de las distintas fuentes

El perfil de consumo eléctrico mensual varía en función de la demanda del proceso. En los meses de verano es donde se producen los picos de consumo eléctrico, llegando a superar los 60 MWh en los meses de julio y agosto.

Consumo eléctrico mensual

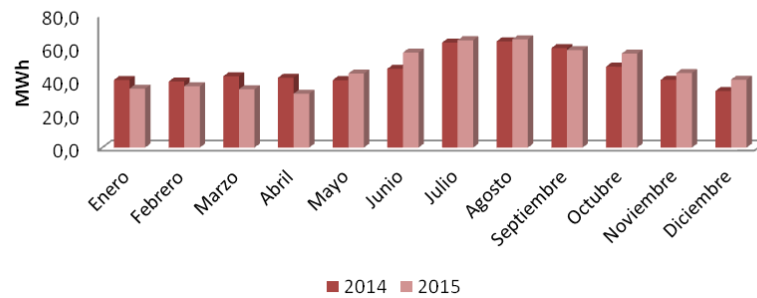


Figura 4.2 Perfil de consumo eléctrico mensual de los dos últimos años

En el caso del consumo de gasoil mensual la diferencia entre el consumo en litros de un mes con respecto a otro es muy alta, llegando algunos meses a triplicar el consumo con respecto a otros. También hay que destacar que en muchos meses la diferencia de consumo es muy notable para un mismo mes en relación a los dos últimos años (2014,2015)

Consumo Gasoil mensual

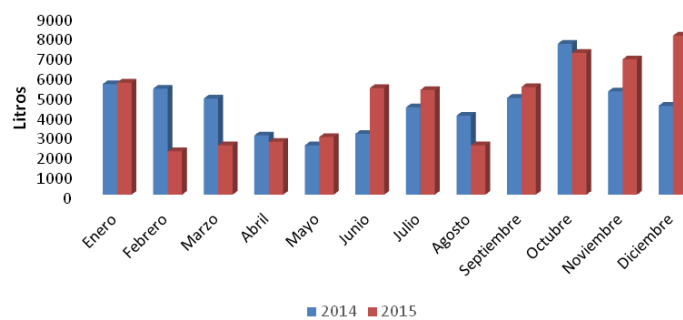


Figura 4.3 Perfil de consumo de gasoil mensual en los dos últimos años

4.2.2 Grandes consumidores

Como dice el nuevo Real Decreto RD 56/2016, para una correcta realización de una auditoría energética es necesario conocer un mínimo del 85% del consumo total de la empresa para poder estudiar donde se produce el consumo, cuales son los consumidores importantes y centrarse en ellos a la hora de proponer las medidas de eficiencia energética, ya que una pequeña mejora en la eficiencia de un gran consumidor es fundamental para el ahorro energético y económico del proceso.

Es por ello que se estudia el proceso y se detallan las características de estos consumidores para su posterior análisis.

Máquina	Unidades	Potencia Consumida (kW)
Sierra corte automático	3	1,2
Robot soldador	2	3
Cizalla	2	4
Torno manual	5	7,5
Puente grúa (5 toneladas)	3	7,5
Centro mecanizado	2	11,2
Torno control numérico	2	15
Punzonadora control numérico	1	20
Plegadora control numérico	1	22
Cortadora Laser	1	70

Tabla 4.2 Principales consumidores de las instalaciones

La cortadora laser es sin duda el mayor consumidor con 70 kW de potencia consumida pero también están presentes en las instalaciones diversas máquinas que consumen un importante porcentaje de consumo total como pueden ser la plegadora o la punzonadora.

4.2.3 Índices de consumo

Para poder analizar en profundidad las características del consumo energético de la empresa se realiza el cálculo de los índices de consumo más importantes. Estos se obtienen con el cociente del consumo energético entre la producción obtenida mediante este consumo.

$$IC = \frac{\text{Consumo (MWh)}}{\text{Producción (nº maquinas)}}$$

En este caso la producción es el número de máquinas fabricadas en el proceso mientras que el consumo engloba los provenientes del consumo eléctrico de la red, así como del gasoil empleado.

Se calculan los índices de consumo global del proceso y los particulares para cada temporada de producción, olivar y cereales, haciendo también una particularización de los índices de consumo de cada fuente de energía para cada temporada.

Por una parte se ha calculado el índice de consumo global de la empresa con el cociente entre la producción anual de maquinaria y el consumo que esta ha tenido para los dos últimos años.

Año	2014	2015
Producción TOTAL	271	246
Electricidad (MWh)	563,7	572,0
Gasoil C (MWh)	811,1	884,2
Gasoil (MWh)	569,9	586,8
Índice consumo global	7,176	8,305

Tabla 4.3 Índice de consumo global de las instalaciones en los dos últimos años

El índice global de consumo ha aumentado notablemente del año 2014 al 2015 debido al descenso en la producción de maquinaria anual y a un mayor consumo de energía.

Este ascenso es un dato negativo ya que se ha consumido una mayor energía en el proceso por maquina producida (energía unitaria).

Por otra parte se han calculado los índices de consumo global y de cada tipo de energía en particular para cada una de las temporadas de producción de las instalaciones.

En el caso de la temporada del olivar el índice de consumo global es muy alto.

Consumo Producción Olivar	2014	2015
Producción OLIVAR	34	43
Electricidad (MWh)	203,9	249,5
Gasoil C (MWh)	99,8	449,1
Gasoil (MWh)	293,2	310,0
Índice consumo global (MWh/maq)	17,6	23,5
Índice eléctrico (MWh/maq)	6,0	5,8
Índice gasoil C (MWh/maq)	2,9	10,4
Índice gasoil (MWh/maq)	8,6	7,2

Tabla 4.4 Índices de consumo característicos de la producción para el olivar de los dos últimos años

La causa es el alto consumo energético que es necesario para la producción de una maquina de este tipo. En el último año, el mayor consumo energético para esta producción es el de gasoil C muy por encima de los otros.

En el caso de la producción para cereales los índices de consumo son bajos ya que se consigue producir gran cantidad de maquinaria con un consumo moderado.

Consumo Cereales	2014	2015
Producción cortes	237	203
Electricidad (MWh)	359,8	357,5
Gasoil C (MWh)	711,8	435,1
Gasoil (MWh)	293,2	310,0
Índice consumo global (MWh/maq)	5,8	5,4
Índice eléctrico (MWh/maq)	1,5	1,8
Índice gasoil C (MWh/maq)	3,0	2,1
Índice gasoil (MWh/maq)	1,2	1,5

Tabla 4.5 Índices de consumo característicos de la producción para de cereales de los dos últimos años

Con un índice de consumo global de esta temporada en torno a 5 hace que el consumo global anual sea bajo ya que la producción de maquinaria para cereal es mucho mayor que la de maquinaria de olivar, por lo que su mayor peso hace descender la media de consumo anual global (la producción de maquinaria en la temporada del cereal es superior a las 200 unidades mientras que en la temporada del olivar está entorno a las 40 unidades).

4.2.4 Tarifa eléctrica

Conocer el consumo eléctrico de la fábrica y la tarifa eléctrica a la que esta sujeta es fundamental para poder analizar posibles proyectos de ahorro energético.

Por una parte se van a mostrar las características de la tarifa eléctrica contratada, incluyendo potencia contratada y precio de la energía consumida.

Una vez expuesta la tarifa contratada se mostrará el perfil de consumo de la empresa para conocer donde se producen los picos de demanda.

4.2.4.1 Tarifa contratada

La empresa Moresil S.L esta sujeta a la tarifa eléctrica **3.1 A Media Tensión**

Esta tarifa consta de tres periodos para media tensión (de 1 a 36KV) con una potencia contratada en todos los periodos igual o inferior a 450kW. A esta tarifa se le aplica la facturación por energía reactiva (Real Decreto 1164/2001, publicado en el BOE num.268 de 8 de noviembre de 2001)

Los tres periodos se diferencian por el precio de la energía en cada uno de ellos.

- Valle. Es el periodo del día donde el precio de la energía es menor, el cual se produce cuando el consumo de energía eléctrica de la red es menor.
- Llano. El precio del kWh es mayor que con respecto al periodo valle.
- Punta. Es el periodo del día donde el consumo de energía es mayor y por consecuencia el precio de la energía consumida mayor.

Las franjas horarias correspondientes a cada periodo varían dependiendo de la época del año en la que nos encontremos.

	Punta(P1)	Llano(P2)	Valle(P3)
INVIERNO	17h-23h	23h-24h y 8h-17h	0h-8h
VERANO	10h-16h	16h-24h y 8h-10h	0h-8h

Tabla 4.6 Franjas horarias de cada periodo para las distintas temporadas

Para cada uno de estos periodos existe una potencia contratada con su precio del KWh correspondiente al término de energía y un precio del KW año referido al término de potencia.

En el caso de la empresa auditada la potencia contratada para cada una de las franjas horarias varía entre 240 y 250 KW.

Periodos	Potencia contratada (KW)	Término Potencia (€/KW año)	Término Energía (€/KWh)
P1	240	57,907	0,102
P2	250	35,709	0,087
P3	250	8,188	0,063

Tabla 4.7 Características de la facturación eléctrica de la empresa contratada

4.2.4.2 Perfiles de consumo eléctrico

El consumo de la empresa varía en función de la demanda de maquinaria que haya en el mercado. Observando los datos de consumo eléctrico proporcionados por la empresa se obtiene un perfil anual que refleja la evolución anual de este consumo.

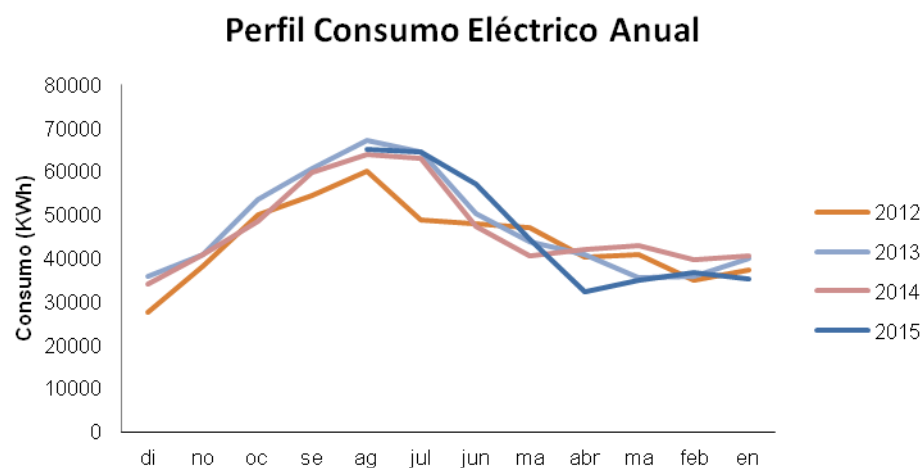


Figura 4.4 Perfil de consumo eléctrico anual de los últimos años

El pico de mayor consumo se produce en el mes de agosto. En este mes la demanda de producción de maquinaria es muy alta ya que estamos dentro de la temporada de maquinaria del cereal, donde la demanda para la empresa auditada es muy elevada comparándola con la otra temporada presente en las instalaciones

(producción del olivar). El mes de agosto es el de mayor consumo ya que es donde habitualmente se concentra el mayor número de pedidos de maquinaria para el cereal.

Los datos han sido extraídos de un sistema de monitorización de la empresa, la cual controla el consumo eléctrico que se produce en sus instalaciones con registros cuartohorarios de consumo de energía activa, reactiva y de potencia.

Para conocer el perfil de consumo eléctrico diario de las instalaciones se recurre a este sistema de monitorización para realizar un estudio del consumo y así barajar la posibilidad de inclusión de alguna medida de ahorro energético en el consumo eléctrico.



Figura 4.5 Perfil de consumo diario de potencia eléctrica (7 de agosto). Fuente: Moresil S.L

Para el día más desfavorable de la instalación, que corresponde con el 7 de agosto, el perfil de consumo eléctrico de la red tiene su pico por la mañana (11h) mientras que el llano se produce en las horas de la tarde y el valle se sitúa de madrugada.

Con respecto al consumo en energía activa no existe diferenciación de consumo entre las horas de la tarde y la madrugada, donde en términos de potencia se produce de forma diferenciada el llano diario y el valle respectivamente.

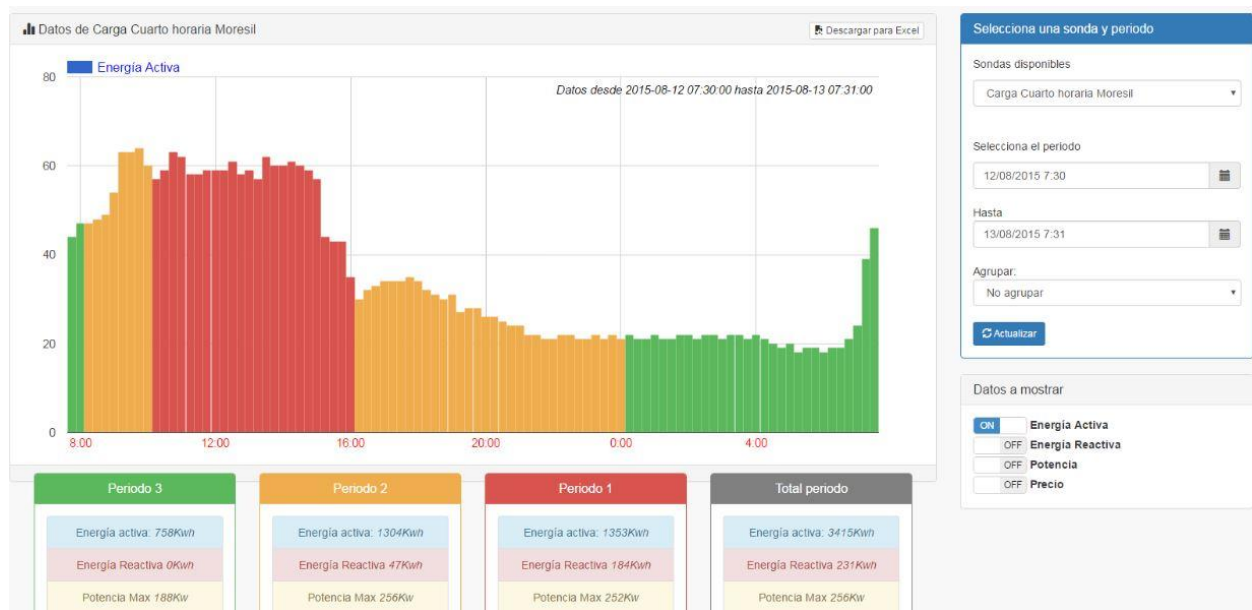


Figura 4.6 Perfil de consumo diario de energía activa (12 de agosto). Fuente: Moresil S.L

El consumo de energía activa es muy alto en el periodo 1 (P1) donde el consumo energético se encuentra en sus horas pico.

Los datos de consumo de energía eléctrica desglosados por periodo y año al que pertenecen se muestran en el anexo 2.

5 PROYECTOS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA

En este apartado se analizan las oportunidades de ahorro que se han identificado con la realización de la auditoría energética mediante los datos recopilados de la empresa y las visitas realizadas a las instalaciones.

Para ello se expondrá la situación inicial en la que se encontraba, analizando las ineficiencias presentes en esas condiciones.

Para cada uno de los proyectos se realizará un análisis técnico y económico a fin de conocer la viabilidad de su implantación. Dentro de este análisis económico se expondrá la inversión necesaria a realizar y el tiempo necesario para el retorno de esta.

5.1 Automatización de las puertas del horno de la cadena de pintura. Simulación con el programa informático CoDeSys

Con este proyecto se consigue que las puertas del horno de la cadena de pintura tengan un tiempo de apertura y cierre en función del tipo de pieza que llegue al mismo, de manera que las pérdidas de calor al ambiente por este proceso de apertura y cierre se minimicen, lo que llevaría a un menor gasto de combustible para mantener el horno a la temperatura óptima para la realización del proceso.

5.1.1 Situación inicial del horno de polimerizado

El horno de polimerizado se sitúa en el último tramo de la cadena de pintura, en el que las piezas de acero llegan tras pintarse y su función es hacer que estas absorban la pintura recientemente puesta.

La longitud del horno es de 14 metros con un ancho de 2. El horno se calienta a una temperatura de 200 °C para la correcta realización del proceso y para evitar las pérdidas de calor hacia el exterior, este está aislado con planchas de lana de roca de 150 mm de espesor. El aporte calorífico está dado con gasoil calefacción.

También están colocadas en la entrada y salida de las piezas, tanto en la puerta de entrada como en la de salida, cortinas de aire para controlar las fugas de calor. Estas cortinas llevan difusores regulables para aumentar su efectividad.

Actualmente el horno cuenta con un sistema de regulación y controles con los que se realizan las siguientes funciones:

- Regulación y control de temperatura mediante sondas pirométricas, situadas en la zona interior del horno, con conexión al cuadro general de maniobras.
- Control del funcionamiento de las turbinas, situado en el cuadro general de maniobras.
- Seguridad contra el exceso de temperatura en la cámara de combustión, situada en la cámara de expansión de salida de humos y conectada al cuadro general de maniobras.
-

El cuadro general de maniobras cuenta con los siguientes elementos.

- Armario metálico
- Contadores.
- Relés.
- Pulsadores de paro y marcha.
- Cableado interior con regletas.
- Interruptor de mando automático.
- Alarma.
- Diferenciales.

Este cuadro general de maniobras se sitúa dentro del circuito de máquinas.

5.1.2 Análisis de las ineficiencias

Para que el horno de polimerizado tenga la mayor eficiencia posible se tiene que conseguir que las pérdidas de calor al exterior sean mínimas. Para ello el sistema actual cuenta con dos estrategias para la disminución de estas pérdidas.

Como ya ha sido mencionado con anterioridad, el horno cuenta con planchas de lana de roca de 150 mm de espesor a lo largo de las paredes del horno para evitar las pérdidas. Con esto se ha conseguido de manera eficaz evitar las pérdidas por las paredes ya que en las visitas realizadas a las instalaciones se ha comprobado como las paredes por el exterior del horno no están calientes, por lo que la colocación del aislante evita la transmisión del calor a través de ellas.

Otro de los sistemas que actualmente tiene instalado el horno para evitar las fugas de calor hacia el exterior son las cortinas de aire situadas a la entrada y la salida de las piezas al horno.

Este sistema cuenta con dos ventiladores de 15.000 m³/h cada uno para impulsar en la puerta y así evitar que el calor del interior salga y descienda la temperatura del interior del horno. Este sistema sería eficaz si estuviera bien regulado.

Se pudo comprobar cómo las cortinas de aire no impulsaban el aire en vertical, si no que existía una desviación que permitía que el aire exterior e interior se mezclaran, produciéndose pérdidas en la temperatura del horno que como consecuencia llevan a un aumento del gasto de combustible, ya que el control del horno está diseñado para mantener la temperatura de este entorno a los 200°C.

Una prueba de las pérdidas producidas debido a la mala regulación de las cortinas de aire en la entrada y la salida del horno son las curvas de la evolución de la temperatura en el interior del horno.

Los detalles de los diferentes estudios térmicos realizados al horno se muestran en el anexo 3.

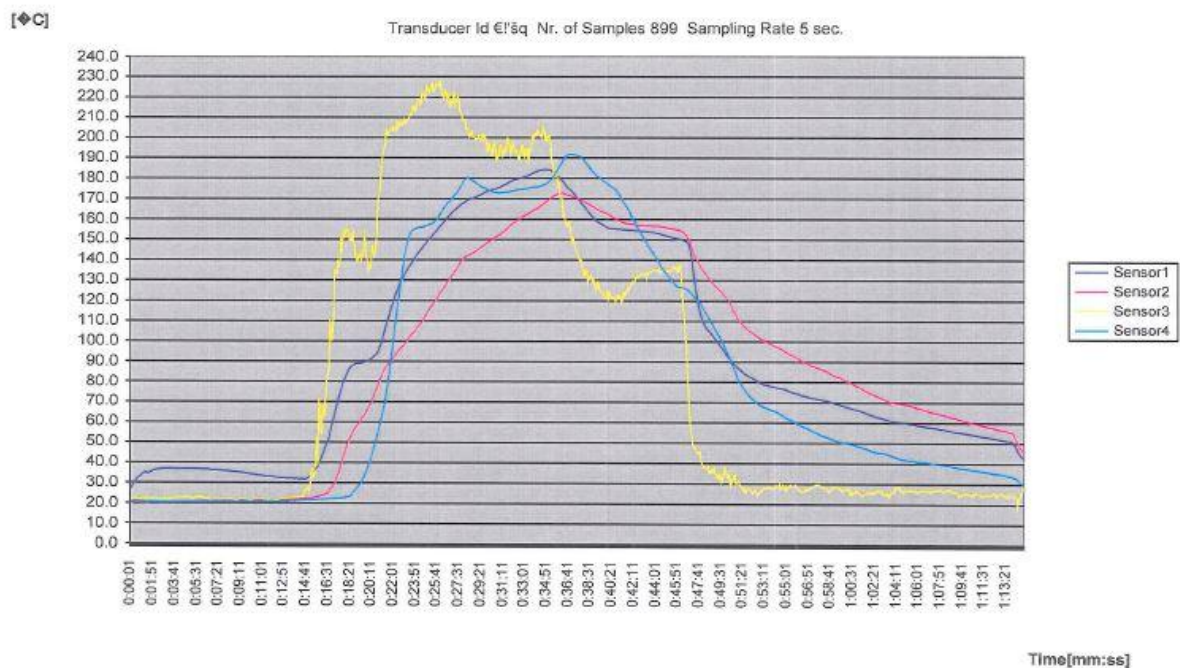


Figura 5.1 Ensayo de la evolución de la temperatura en el interior del horno a distintas alturas

Donde cada una de las curvas corresponde a la evolución de la temperatura con el tiempo a una altura determinada dentro del horno. Se puede observar como se producen grandes saltos en la temperatura en los momentos en que se produce la apertura de las puertas. Estas fuertes variaciones implican un gasto extra de combustible ya que cuando se produce ese descenso de temperatura el horno tiene que llevarla de nuevo a la temperatura de consigna (200 °C).

En diversas ocasiones se han intentado regular de nuevo las cortinas de aire para que estas pérdidas no se produzcan pero no se ha conseguido evitar el problema.

También se han producido fallos debidos a que la apertura y el cierre de la puerta se produzcan de manera manual. Debido a que los operarios son los encargados de esta función, en diversas ocasiones la pieza ha partido la puerta ya que esta no ha sido abierta a tiempo, con lo que las pérdidas han sido mucho mayores ocasionando la parada del proceso.

Es por esto que el sistema actual de control de la temperatura del horno se produce de manera ineficiente y el problema se focaliza en las puertas de horno.

5.1.3 Propuesta de mejora. Automatización de la apertura y cierre de puertas

Es por todo esto que la propuesta de mejora de la eficiencia va encaminada a la optimización de la apertura y cierre de las puertas. Para ello se implanta un sistema de control que regule las puertas en función del tipo de pieza y la velocidad a la que se desplacen por la cinta.

Para la implantación de este control se van a tener en cuenta una serie de características que se quieren tener a la hora de realizar esta automatización del proceso:

- **Dimensiones variables de las piezas.** Cada una de las piezas tendrá unas dimensiones variables en

relación a la longitud y el ancho de estas.

- **Velocidad variable de la cinta.** Dependiendo del tipo de pieza que se desee tratar, necesitará un mayor o menor tiempo en el horno, por lo que la velocidad de la cinta que las transporta a lo largo del horno debe ser variable.
- **Modo automático.** Modo mediante el cual el sistema reconoce la pieza que esta siendo transportada y responde según las características del sistema (velocidad y tamaño).
- **Modo manual.** El operario pueda realizar la apertura y el cierre de las puertas y variar la velocidad de la cinta si ve que es necesario para el proceso.
- **Modo de emergencia.** Modo mediante el cual el sistema quedará totalmente deshabilitado para su reparación debido a un fallo del sistema. Este modo se activará con un botón de emergencia que habrá distribuidos a lo largo del proceso por la nave.

Para realizar la automatización de este proceso se va a realizar la simulación con el sistema de desarrollo de controladores CoDeSys.

5.1.3.1 Elementos para la visualización en CoDeSys

Para poder realizar la simulación del control del horno de la cadena de pintura en CoDeSys lo primero es diferenciar los distintos elementos.

- **Actuadores.** Como actuadores tendremos todos los botones que al pulsar se realiza una acción en el proceso. Dentro de este grupo se encuentran:
 - Pulsador de encendido del horno (HORNO)
 - Distintas velocidades de la cadena (VEL 1 y VEL 2)
 - Inicio del proceso (START)
 - Distintas tipologías de piezas (PIEZA 1, PIEZA 2 y PIEZA 3)
 - Apertura y cierre de las puertas de entrada y de salida (ABRIR ENTRADA, ABRIR SALIDA, CERRAR ENTRADA y CERRAR SALIDA)
 - Botón de cambio de modo de manual a automático y viceversa (AUTO 1/MANUAL 0)
 - Botón de parada de emergencia (EMERGENCIA)
- **Sensores.** Son aquellos que tras detectan un suceso y a través de ellos el proceso actúa en consecuencia. Los sensores con lo que cuenta este programa son:
 - Sensor de detección de pieza (S1)
 - Sensor de lectura de pieza para apertura de puertas (S2)
 - Sensor de apertura de puertas de entrada y salida (AP)
 - Sensor de finalización de recorrido (S3)
- **HMI.** Interacción entre el humano y la máquina. En esta simulación contamos con:
 - Manual. Botonera para la operación en modo manual.
 - Automático. Botonera para la operación en modo automático.
 - Modos. Botón para el cambio de manual a automático.

- Emergencia. Parada del proceso.
- **Simulación.** En la simulación el programa leerá la pieza seleccionada (PIEZA 1, PIEZA 2 o PIEZA 3) así como la velocidad a la que esta se esta moviendo (VEL 1 o VEL 2) y consecuentemente se producirá la apertura y cierre de las puertas en el tiempo óptimo para que estas estén abiertas el mínimo tiempo posible, produciéndose así las minimas perdidas en el proceso.

5.1.3.2 Programación de la visualización

Para programar la visualización del control de la apertura de las puertas se ha recurrido a dividirla en varios bloques básicos de programación, denominados POU's (Program Organization Unit). Por una parte se encuentra el movimiento de la pieza a lo largo del horno de polimerizado (*VISU 1*) y por otra la apertura y cierre de las puertas (*PUERTAS*)

Ambos programas se han realizado en el lenguaje de programación en ST.

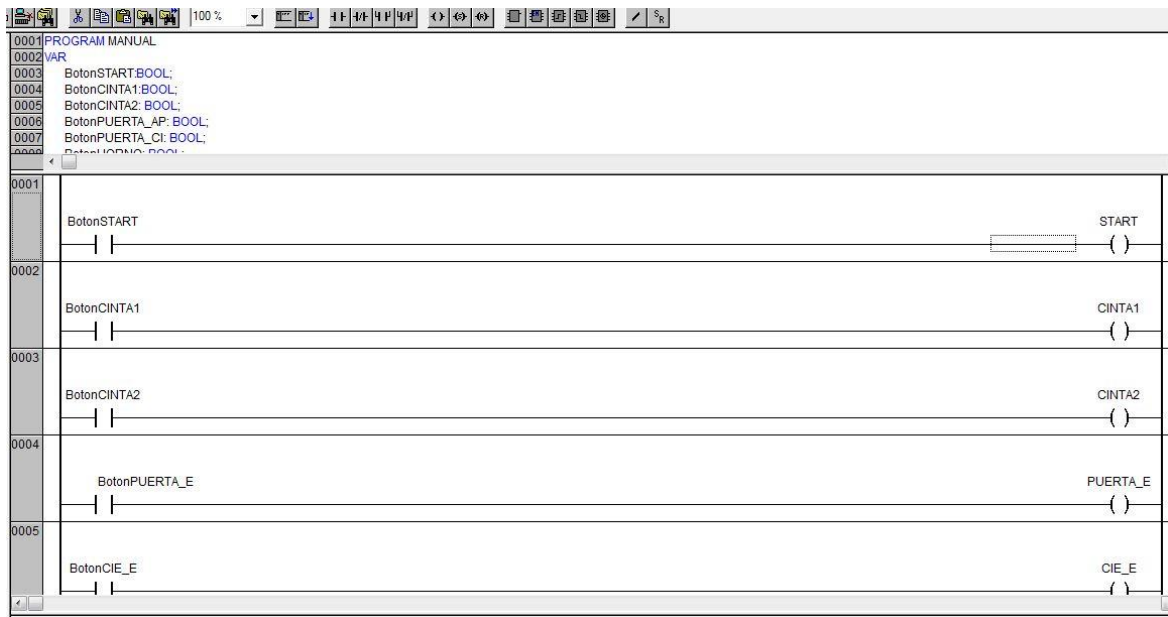
```

0001 PROGRAM PUERTAS
0002 VAR
0003
0004     POSY_PUERTA_S1:INT;
0005     POSY_PUERTA_S2:INT;
0006     POSY_PUERTA_E1:INT;
0007     POSY_PUERTA_E2:INT;
0008     VEL_P:INT:=4;
0009
0010     AP_E:BOOL;
0011     AP_S:BOOL;
0012
0013 END_VAR
0014
0001
0002 IF ( PUERTA_E=TRUE) THEN
0003     AP_E:=1;
0004     POSY_PUERTA_E1:=POSY_PUERTA_E1 - VEL_P;
0005     POSY_PUERTA_E2:=POSY_PUERTA_E2 + VEL_P;
0006 ELSE
0007     POSY_PUERTA_E1:=POSY_PUERTA_E1;
0008     POSY_PUERTA_E2:=POSY_PUERTA_E2;
0009 END_IF
0010 IF ( CIE_E=TRUE) THEN
0011     POSY_PUERTA_E1:=POSY_PUERTA_E1 + VEL_P;
0012     POSY_PUERTA_E2:=POSY_PUERTA_E2 - VEL_P;
0013 ELSE
0014     POSY_PUERTA_E1:=POSY_PUERTA_E1;
0015     POSY_PUERTA_E2:=POSY_PUERTA_E2;
0016 END_IF
0017
0018 IF (POSY_PUERTA_E1<=-68) THEN
0019     POSY_PUERTA_E1:=-69;
0020 END_IF

```

Figura 5.2 Ejemplo de la POU *PUERTAS*

Para poder elegir la pieza y la velocidad a la que se quiere que se desplace se insertan unos botones en la visualización. Para ello se crea una nueva POU que enlace los botones de la visualización con el movimiento de las piezas y su velocidad. Este nuevo bloque de programación se denomina *MANUAL* y se realiza en lenguaje LD.

Figura 5.3 Ejemplo de la POU *MANUAL*

5.1.3.3 Simulación del control de la apertura y cierre

Para implementar el control de la apertura de las puertas se realizará con temporizadores TON. En estos temporizadores la salida se pone a TRUE cuando ha transcurrido un tiempo prefijado dado, que se proporciona en la entrada.

En este caso el tiempo prefijado en el que la salida se activa es una variable, y depende del tipo de pieza y la velocidad que esta lleve. Por lo tanto, la salida depende de una entrada variable.

Para este control se ha creado una POU denominada *CONTROL* la cual a través de los actuadores creados y la lectura de las variables de entrada a los temporizadores activa la apertura y el cierre de las puertas de entrada y salida.

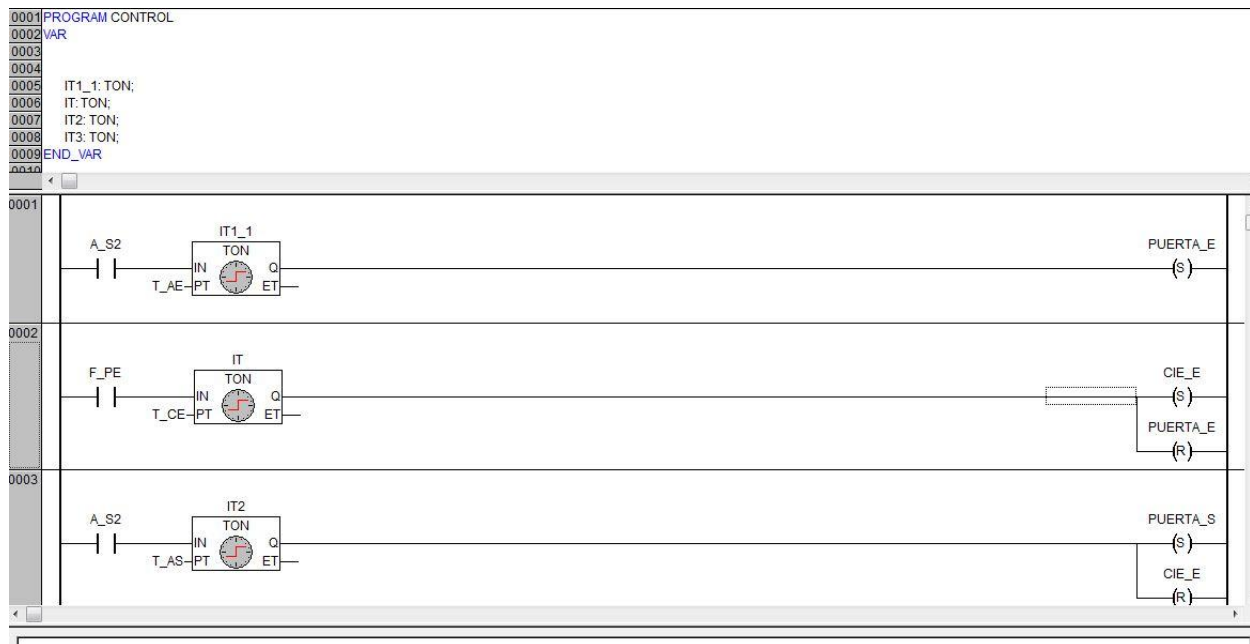


Figura 5.4 Ejemplo de la POU *CONTROL*

La lectura de las variables de entrada a los temporizadores se realiza cuando se selecciona en la botonera una de las combinaciones de tipo de pieza y velocidad de la misma que se han expuesto con anterioridad.

Las variables creadas para la implementación de los temporizadores son las siguientes:

- T_AE: Tiempo de apertura de la puerta de entrada.
- T_CE: Tiempo de cierre de la puerta de entrada.
- T_AS: Tiempo de apertura de la salida.
- T_CS: Tiempo del cierre de la salida.

Estas variables toman su valor en la POU *VISUI* como se muestra en la siguiente imagen:

```

0001
0002 IF (START=1 OR STARTA=1) THEN
0003     experimento:=1;
0004     CONTROL;
0005     (*PIEZAS*)
0006     IF (PIEZA1=1 OR PIEZA1A=1) THEN
0007         P1:=1;
0008         IF (CINTA1=1 OR CINTA1A=1) THEN
0009             MOVIMIENTO1_1:=TRUE;
0010             T_AE:=INT_TO_TIME(2750);
0011             T_CE:=INT_TO_TIME(2500);
0012             T_AS:=INT_TO_TIME(29000);
0013             T_CS:=INT_TO_TIME(3000);
0014         ELSE
0015             MOVIMIENTO1_1:=FALSE;
0016         END_IF
0017         IF (CINTA2=1 OR CINTA2A=1) THEN
0018             MOVIMIENTO1_2:=TRUE;
0019             T_AE:=INT_TO_TIME(1500);
0020             T_CE:=INT_TO_TIME(1000);
0021             T_AS:=INT_TO_TIME(14000);
0022             T_CS:=INT_TO_TIME(1000);
0023         ELSE
0024             MOVIMIENTO1_2:=FALSE;

```

Figura 5.5 Ejemplo de la lectura de variables para los temporizadores de la POU VISUI

5.1.3.4 Modos de operación

Para tener un control total sobre el proceso de automatización del horno de polimerizado se necesita la implantación de los distintos modos de operación.

- **Modo automático.** Es el modo normal de operación de la apertura y cierre de las puertas del horno. En este se produce la lectura de las dimensiones de la pieza, así como su velocidad. Con estos datos de entrada se optimiza la apertura y cierre de las puertas, tanto de entrada como de salida de la pieza.
- **Modo manual.** Este modo de operación es para casos especiales en los que las piezas necesiten un tiempo en el horno distinto a las piezas normales. Para estos casos, la apertura y cierre de las puertas no están automatizadas, si no que se realizan de manera manual por el operario mediante su botonera.
- **Modo emergencia.** Se activa con un pulsador de emergencia situado en diversas zonas del proceso de la cadena de pintura. Cuando este se active el proceso queda automáticamente parado.

Por tanto contamos con tres modos distintos de operación, los cuales tienen que estar claramente diferenciados en el panel de operaciones de la instalación.

Los dos modos principales de operación son el modo manual y el automático. Cada uno de ellos cuenta con su propia botonera de control.

La botonera del modo automático cuenta únicamente con los elementos necesarios para la elección de un tipo de pieza y su velocidad.



Figura 5.6 Botonera del control automático

En ella se selecciona una velocidad y un tipo de pieza y con ello se podrá realizar la simulación.

Por otro lado tenemos la botonera del modo manual. Esta cuenta con los mismos elementos que la botonera automática, pero ahora se incluyen botones de control de apertura y cierre de las puertas de entrada y salida de las piezas.



Figura 5.7 Botonera del control manual

Para poder actuar sobre alguna de las dos botoneras tenemos que tenerlas activadas. Para ello se incluye un botón que activa una u otra, dejando inhabilitada la opuesta.

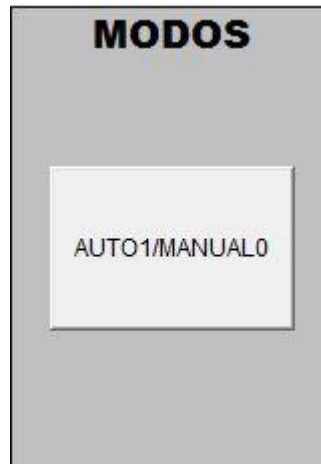


Figura 5.8 Botón de activación de modos

Cuando el botón se encuentre pulsado estará activo el modo automático (botón en 1 booleano) quedando la botonera del modo manual desactivada. De la misma manera ocurre cuando el botón no está pulsado, donde se puede operar de manera manual y el modo automático queda inhabilitado.

Por otra parte se encuentra el botón de emergencia. Este parará el proceso cuando se active, independientemente del modo en el que se encuentre el proceso y en que parte del mismo se encuentre la pieza.



Figura 5.9 Botón de activación del modo de emergencia

Para poder llevar acabo todo este proceso de cambio de un modo a otro se han creado en el programa de simulación distintas nuevas POU's.

Mediante el programa *MODOS* se realiza la lectura del botón de paso de modo manual a automático, así como el botón de emergencia para la parada del sistema. Este programa se realiza en lenguaje de contactos (LD).

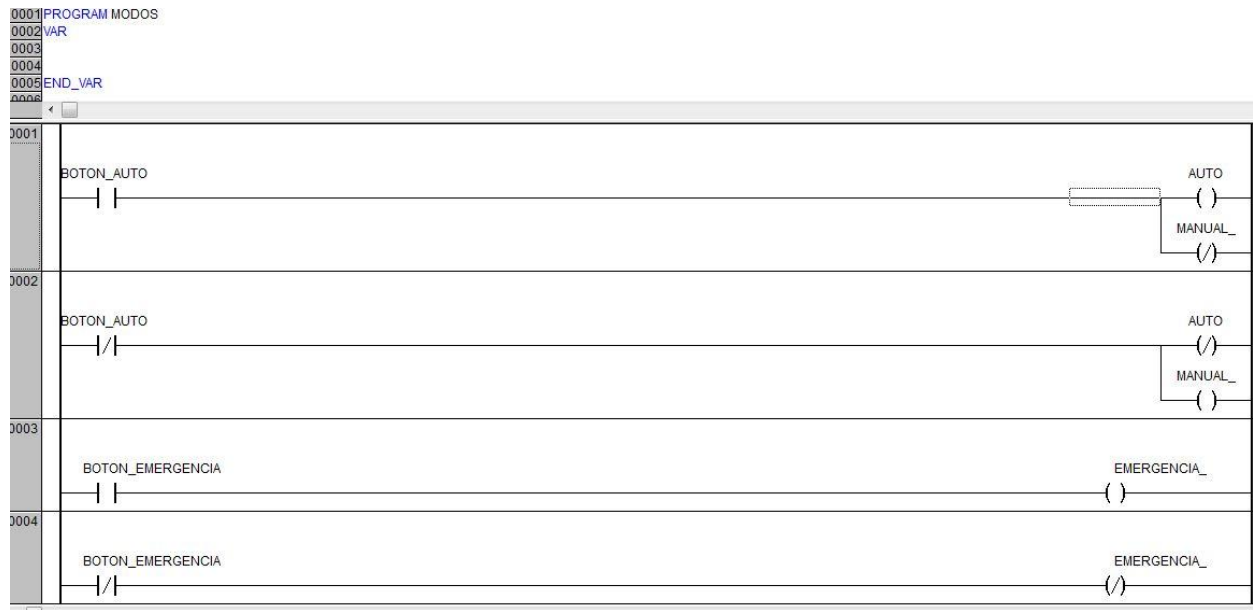


Figura 5.10 Ejemplo de la POU *MODOS*

Por último se crea una POU que sea capaz de encadenar el paso de un modo de operación a otro. Para ello se crea un programa denominado *MODO_NORMAL*. Este se programa en lenguaje SFC ya que ayuda visualmente a entender cómo funciona el paso de un modo de operación a otro, así como las distintas opciones.

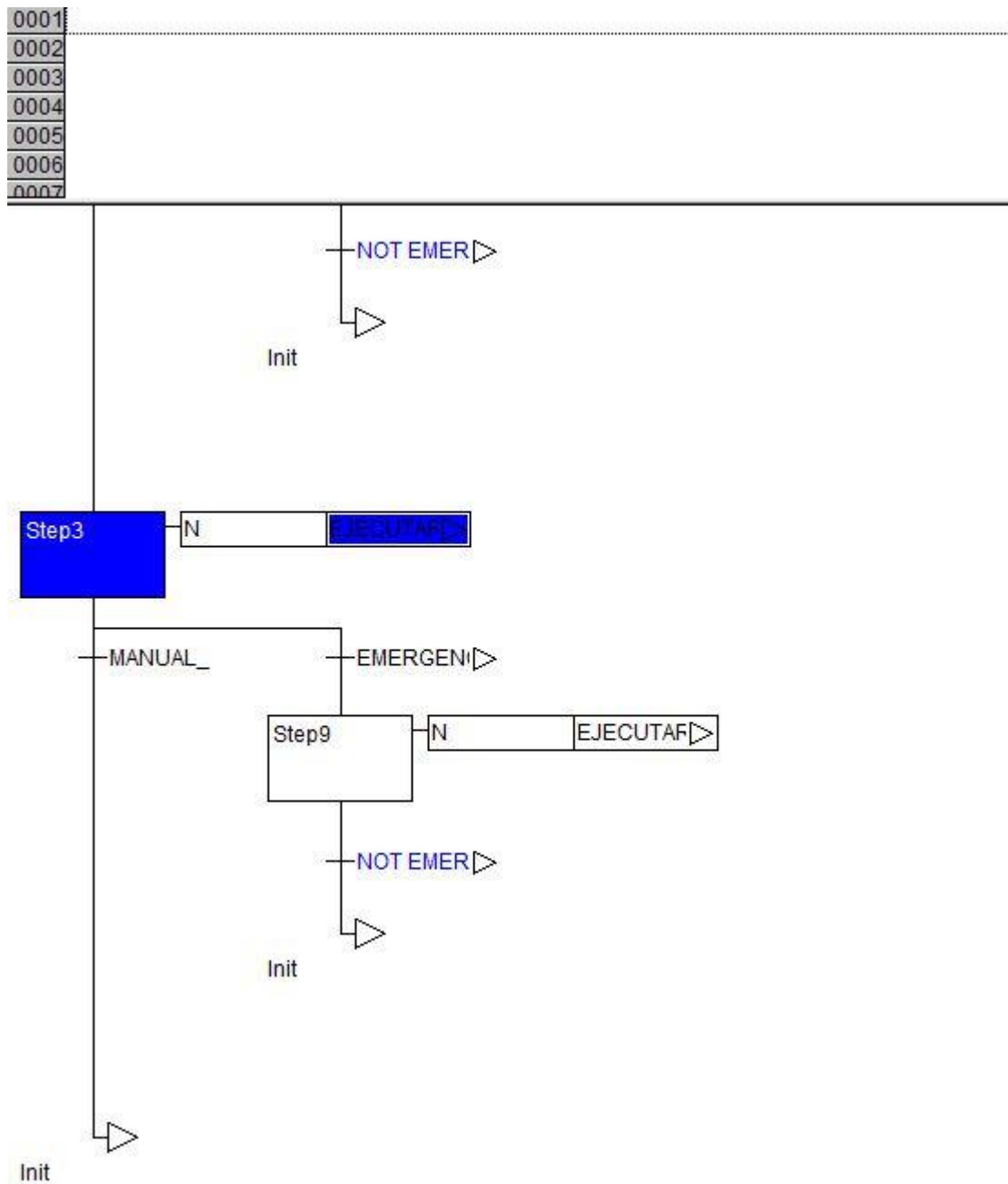


Figura 5.11 Ejemplo de la POU *MODO_NORMAL* con el modo automático en ejecución.

Con todo ello se consigue simular el proceso por completo y obtener la automatización de la apertura y cierre de las puertas del horno de polimerizado.

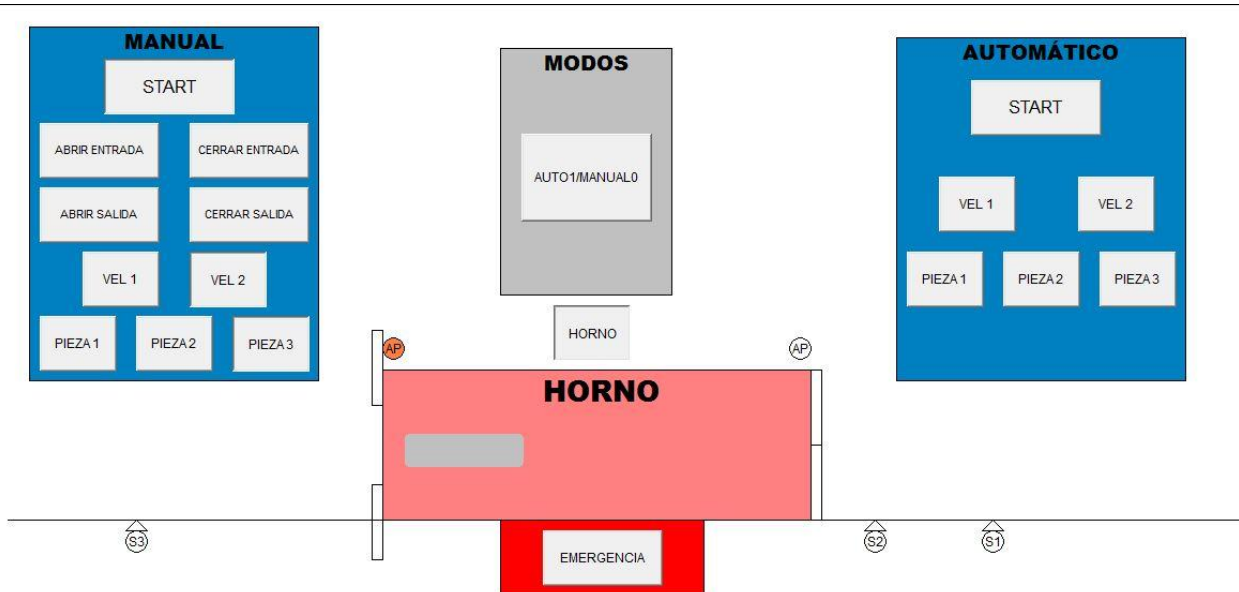


Figura 5.12 Ejemplo de la simulación de la apertura y cierre con el programa CoDeSys

5.1.3.5 Análisis económico de la propuesta

Para conocer la viabilidad económica de la propuesta se analizan los ahorros anuales producidos por esta mejora del proceso y se realiza un estudio de inversión y rentabilidad para la obtención de la tasa interna de retorno de la inversión (TIR) así como el pay-back de esta conociendo el ahorro anual y el coste de la inversión.

El estudio de los ahorros anuales producidos por este proyecto son complicados de cuantificar, ya que las pérdidas que se producen actualmente son muy variables y dependen de la rapidez y agilidad del operario a la hora de abrir y cerrar las puertas del horno de la manera más eficaz posible, así como de las veces que se produzcan fallos en la operación, tales como que la pieza rompa la puerta por no haberla abierto a tiempo.

Realizando entrevistas con los operarios y visualizando la operación durante las visitas se estima un ahorro de entorno al 15% del consumo actual en el horno de polimerizado. Como este supone el 60% del consumo anual de gasoil calefacción, se obtiene un ahorro de:

$$0.15 * 0.6 * 88598 \frac{l}{\text{año}} * 0.808 \frac{\text{€}}{l} = 6442 \text{ €}$$

Para cuantificar el coste de la inversión necesaria se han tenido en cuenta tanto los costes de instrumentación como del proyecto de ingeniería.

	Coste (€)
PLC	1000
Sensorización	300
Motores	900
Cuadro	1000
Armario	800
Programación	1000
Esquema eléctrico	2000
Instalación	1500
TOTAL	8500

Tabla 5.1 Costes inversión proyecto de automatización

Analizando la inversión a realizar y la rentabilidad de la misma se obtiene:

- Inversión del proyecto: 8500 €
- Ahorro anual: 6442 €
- Pay-back: 1 año

5.2 Intercambiador de calor para el calentamiento del agua de la sección de desengrase y fosfatado de la cadena de pintura

Con este proyecto se consigue aportar el calor necesario para aumentar la temperatura del agua en la sección inicial de la cadena de pintura, donde se desengrasan y fosfatan las piezas para posteriores tratamientos.

Este calor es aportado energía residual del proceso. En este caso, se aprovechan los gases de salida del horno de polimerizado.

Con este proyecto se consigue ahorrar en gasoil calefacción, ya que ese calor que se aportaría con el intercambiador de calor se aporta en la actualidad con este combustible.

5.2.1 Situación inicial de la zona de desengrase y fosfatado

Esta zona es la primera etapa de la cadena de pintura. En ella las piezas llegan directamente de las otras naves, donde han sido trabajadas y tratadas, por lo que llegan en condiciones desfavorables para ser pintadas.

Es por ello que la primera etapa es el lavado de las piezas con agua tratada con químicos. Este agua tiene las propiedades para conseguir dejar la pieza lista para procesos posteriores y ser pintada.

Pero para que este proceso se pueda realizar de manera eficiente el agua debe estar a una temperatura adecuada de 50°C. El agua se almacena en unos tanques donde se produce el aporte calorífico para elevar la temperatura del agua. Este aporte de calor se realiza con gasoil calefacción, que se introduce en el tanque a través de un serpentín.

5.2.2 Diseño del intercambiador de calor

Para reducir el consumo de gasoil calefacción en las instalaciones se propone la implantación de un intercambiador de calor de carcasa y tubo, en el que el fluido frío es la corriente de agua tratada con químicos que queremos calentar desde la temperatura de red hasta los 50°C, y el fluido caliente sea una corriente residual del proceso, que en este caso serán los gases de salida del horno de polimerizado que se encuentran a una temperatura que entorno a los 200°C, con lo que tiene un alto valor exergético y es una corriente potencialmente aprovechable.

5.2.2.1 Características generales del intercambiador de calor

El intercambiador que se ha elegido para cubrir estas necesidades es un carcasa y tubo 1,4 (1 paso por carcasa y 4 pasos por tubo) con una sección de 20 tubos. El fluido frío (agua tratada) circula por los tubos, mientras que el fluido caliente (gases de salida del horno) circula por la carcasa.

Las características de los tubos por los que circula el agua tratada son las siguientes:

- Diámetro exterior (D_{ext}): 7/8"
- Relación entre el diámetro exterior y el interior (D_{ext}/D_{int}): 1.13

Las temperaturas de los fluidos con las que ha sido diseñado el intercambiador son las siguientes:

- Temperatura del agua a la entrada del intercambiador (t_1): 15°C
- Temperatura de salida del agua (t_2): 50°C
- Temperatura de los gases a la entrada del intercambiador (T_1): 190°C

Los caudales de cada una de las corrientes están definidos por las características actuales del proceso. El caudal de agua (m_w) que se emplea actualmente para la limpieza de las piezas a la entrada de la cadena de pintura es de 5000 litros al día (8 horas diarias) mientras que para el intercambiador de calor se utiliza una de las chimeneas de extracción de gases del horno, con un caudal (M_g) de 7000 m³/h.

5.2.2.2 Parámetros característicos del intercambiador de calor

Una vez expuestas las características generales del intercambiador, se detallan los parámetros característicos del mismo, que llevan a su diseño final y a la obtención de los datos necesarios para la evaluación del proyecto.

1. **Cálculo de la temperatura de salida de los gases del intercambiador (T_2) y calor transferido (Q).** Para ello se realiza un balance energético de las corrientes en el intercambiador

$$Q = m_w C_{p_w} (t_2 - t_1) = M_g C_{p_g} (T_1 - T_2) \quad (5-1)$$

Donde C_{p_w} y C_{p_g} son los calores específicos del agua y de los gases de combustión respectivamente

$$C_{p_w} = 4,174 \text{ kJ/kg K}$$

$$C_{p_g} = 1,045 \text{ kJ/kg K}$$

De la ecuación 5-1 se obtiene la temperatura de los gases a la salida del intercambiador:

$$T_2 = 180^\circ\text{C}$$

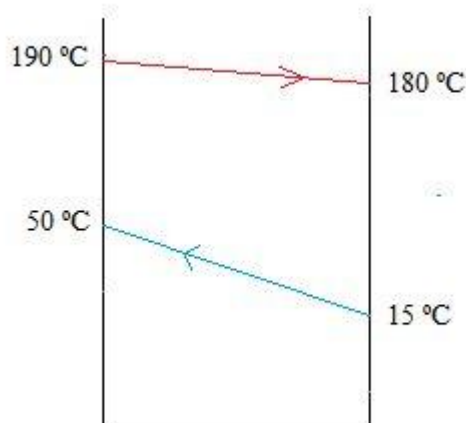


Figura 5.13 Variación de la temperatura de los fluidos en el intercambiador

También se puede obtener de la ecuación 5-1 el calor transferido Q de la corriente de gases de combustión al agua tratada con químicos.

$$Q = 25,18 \text{ kW}$$

2. **Ecuación de transferencia. Cálculo del factor corrector (F_c).** Este factor corrector se calcula a través de simplificaciones

$$Q = U A F_c DTLM_{CE} \quad (5-2)$$

De la ecuación 5-2 para un carcasa y tubo se obtiene el área necesaria del intercambiador para nuestro caso. Para poder calcular esta área primero es necesario calcular el factor F_c . Para ello se recurre a la siguiente simplificación:

- Si $T_c - t_c \cong DTLM_{CE}$:

$$F_c = \frac{DTLM_{CE} - \Delta T_s}{\Delta T_e - \Delta T_s} \quad (5-3)$$

Donde T_c y t_c son las temperaturas calóricas de cada una de las corrientes, cuyo valor será la media de la temperatura a la entrada y a la salida. Por tanto:

$$T_c - t_c = 185 \text{ }^\circ\text{C} - 32,5 \text{ }^\circ\text{C} = 152,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Y el valor de $DTLM_{CE}$ se calcula como

$$DTLM_{CE} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln \left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s} \right)} \quad (5-4)$$

Donde ΔT_e y ΔT_s son las diferencias de temperatura a la entrada y a la salida de las corrientes si se tratara de un intercambiador a contracorriente.

$$\Delta T_e = T_1 - t_2 = 190 \text{ }^\circ\text{C} - 50 \text{ }^\circ\text{C} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_s = T_2 - t_1 = 180 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C} = 165 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto de la ecuación 5-4 obtenemos que $DTLM_{CE}$ es igual a 152,15 °C que es del orden de la diferencia de las temperaturas calóricas:

$$T_c - t_c = 152,5 \text{ }^\circ\text{C} \cong DTLM_{CE} = 152,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo que se puede usar la simplificación anteriormente expuesta, por lo que el valor de F_c se obtiene de de la ecuación 5-3:

$$F_c = 0,514$$

3. **Cálculo del coeficiente de película interior (h_{int}).** Para ello se tienen que determinar las propiedades del agua a la temperatura de las calóricas (t_{c_w}):

$$t_{c_w} = t_1 + F_c(t_2 - t_1) = 15 \text{ }^\circ\text{C} + 0,514(50 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}) = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

Las propiedades del agua a esta temperatura son las siguientes (de la tabla de propiedades del agua expuesta en el anexo 4.

- $C_{p_w} = 4,175 \text{ kJ/kg K}$
- $\kappa = 619 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- $\mu = 758 \cdot 10^{-6} \text{ N s/m}^2$
- $Pr = 5,11$
- $\rho = 995,25 \text{ kg/m}^3$

Con estas propiedades ya se puede calcular el Reynolds correspondiente a esta corriente:

$$Re = \frac{\rho v D_{int}}{\mu} = \frac{4 m_t}{\pi D_i \mu} \quad (5-5)$$

Donde m_t se refiere al caudal que circula por los tubos y D_i al diámetro interior de estos.

De la ecuación 5-5 obtenemos un valor del Reynolds de 14790, por lo que el caudal de agua se encuentra en régimen turbulento completamente desarrollado.

El coeficiente de película interior h_{int} se calcula mediante el número de Nusselt:

$$Nu = \frac{h_{int} D_{int}}{k} \quad (5-6)$$

Para ello se calcula el Nusselt con una de las correlaciones que se adapte a las características de nuestro fluido. Con la correlación 27 (anexo 4).

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad (5-7)$$

Con ello el valor del del Nusselt que se obtiene es 95,74 y al despejar el coeficiente de película interior se tiene que:

$$h_{int} = 3008 \text{ W/mK}$$

4. Cálculo de la diferencia de temperatura ($\Delta\sigma$) con el método del contracorriente equivalente ($F DTLM_{ce}$).

$$\Delta\sigma = F DTLM_{ce} \quad (5-8)$$

Se debe calcular el factor F que corrige las características del carcasa y tubo frente al contracorriente.

Para ello se calcula el valor de los parámetros P y R para poder entrar en la gráfica y calcular así el valor de F .

$$P = \frac{\Delta T \text{ fluido en los tubos}}{\Delta T \text{ máximo}} = \frac{50 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}}{190 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}} = 0,2$$

$$R = \frac{m_w C_{p_w}}{M_g C_{p_g}} = \frac{0,72}{2,51} = 0,287$$

Con estos valores se entra en la gráfica de diferencia de temperatura para nuestro intercambiador y se obtiene el siguiente valor (la gráfica se muestra en el anexo 4)

$$F = 0,97$$

Por lo que el valor de $\Delta\sigma$ se obtiene de la ecuación 5-8:

$$\Delta\sigma = 147,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

5. Cálculo del coeficiente global de transferencia (U). Este coeficiente que se utiliza para estimar el coste del equipo, se calcula a través de la analogía eléctrica.

$$U = \frac{1}{A_e \left(\frac{1}{h_{int} A_{int}} + \frac{F_{si}}{A_{int}} + R_{ad} + \frac{F_{se}}{A_{ext}} + \frac{1}{h_{ext} A_{ext}} \right)} \quad (5-9)$$

De la ecuación 5-9 se obtiene el valor del coeficiente global de transferencia U :

$$U = 142,48 \text{ W/m}^2\text{K}$$

6. Cálculo del área del intercambiador y longitud de los tubos (L_t). Para ello se recurre a la ecuación 5-2, de la que se obtiene el área del intercambiador necesaria:

$$A = 1.25 \text{ m}^2$$

Del área del intercambiador se saca la longitud de los tubos:

$$A = (\pi D_{ext} L_t) n^{\circ} \text{tubos} \quad (5-10)$$

$$L_t = 0,86 \text{ m}$$

$$\frac{L_t}{D_{ext}} > 10 \text{ por lo que cumple la condición de la correlación}$$

5.2.3 Analisis económico de la propuesta

Para conocer la viabilidad económica de la propuesta se analizan los ahorros anuales producidos por esta mejora del proceso y se realiza un estudio de inversión y rentabilidad para la obtención de la tasa interna de retorno de la inversión (TIR) así como el pay-back de esta conociendo el ahorro anual y el coste de la inversión.

El coste de la inversión a realizar para la implantación de esta propuesta se extrae de las tablas de precios de ESDU, la cual se puede observar en el anexo 4.

De ella se obtiene que el coste por W/K es de 4,12 libras. También hay que añadir los costes de ingeniería e instalación. Con todo, el coste total del proyecto, pasado el coste a euros se sitúa entorno a los 10.000 €.

El ahorro conseguido con el proyecto se produce reduciendo el consumo de gasoil calefacción en un 13,7%, ya que este es el porcentaje del consumo de la cadena de pintura que se cubre para el lavado con químicos.

Como el consumo anual en gasoil calefacción es de 88598 litros (año 2015)

$$0.137 * 88598 \frac{l}{\text{año}} * 0,808 \frac{\text{€}}{l} = 9825 \text{ €}$$

Analizando la inversión a realizar y la rentabilidad de la misma se obtiene:

- Inversión del proyecto: 10.000 €
- Ahorro anual: 9825 €
- Pay-back: 1 año

Al tener un Pay-back menor al año, la propuesta de mejora de la eficiencia es altamente rentable.

5.3 Cambio de combustible en la cadena de pintura del gasoil actual a gas propano

Con este proyecto se consigue mejorar las instalaciones de la empresa auditada con un cambio del combustible empleado en estas, proponiendo dejar de consumir gasoil para consumir gas propano, lo que conlleva una mejora del rendimiento del proceso, así como la reducción de gases contaminantes a la atmósfera. Esto lleva a un doble ahorro, ya que la mejora del rendimiento provoca una disminución de la demanda de combustible y con la reducción de los gases contaminantes a la atmósfera se consiguen acortar los impuestos por emisión de CO₂.

5.3.1 Ventajas del consumo de gas propano frente al gasoil

Se propone el cambio de gasoil a propano debido a que conlleva una serie de ventajas que son muy favorables para la empresa.

- **Grandes consumidores.** En grandes consumidores a partir de 10.000 l/año de gasóleo, el gas propano es más económico y eficiente que el gasóleo.

La empresa auditada consume actualmente unos 90.000 litros de gasoil anuales, por lo que el cambio de combustible les será favorable.

- **Los costes de mantenimiento** asociados a los equipos consumidores de gas propano son alrededor de un 10% menor que los del gasóleo.
- **El poder calorífico** del gas propano es un 33% superior al del gasóleo.
- Desde el **punto de vista medioambiental**, se produce una reducción notable de los elementos contaminantes, como se puede observar en la siguiente comparativa (datos expresados en mg/m³)

EMISIONES	COMBUSTIBLE LÍQUIDO	COMBUSTIBLE GAS
Óxidos de azufre	350	5-100
Óxidos de nitrógeno	280-450	70-150
Dióxidos de carbono	3,2-3,3	2,6-3
Monóxidos de carbono	20-100	20-80
Metales	5-10	0

Tabla 5.2 Comparación de emisiones de los combustibles líquidos y gaseosos

- A partir de este año 2016, se pagan más **impuestos** en base al nivel de contaminación que emita una industria, pagando más cuanto menos eficiente sea el combustible.
- Según los identificativos con letras en base a la **eficiencia energética** de la instalación, se considera el gas propano como A mientras que el gasóleo se indentifica con la letra C o D.

Por todo ello se concluye que un cambio en el combustible empleado en las isntalaciones es muy favorable para la empresa auditada.

5.3.2 Análisis económico de la propuesta

Para realizar el análisis económico de la propuesta de cambio de combustible se realiza un estudio comparativo de los costes energéticos. En este estudio se comparan los dos combustibles analizando:

- Poderes caloríficos
- Rendimiento térmico de la combustión
- Consumos anuales
- Costes anuales
- Reducción de contaminantes

Poderes caloríficos

El poder calorífico superior del propano es muy superior al del gasoil C, por lo que la reducción en el consumo de combustible es muy notable, ya que para una misma demanda en el proceso, será necesaria una menor cantidad consumo de propano para cubrirla que de gasoil calefacción.

COMBUSTIBLE	PCI (kcal/kg)
Gasoil C	8700
Propano	11082

Tabla 5.3 Comparación de los poderes caloríficos inferiores de ambos combustibles. Fuente: Ministerio de Industria y Energía

Rendimiento térmico de la combustión

En el caso del rendimiento de la combustión también se puede observar cómo el rendimiento con propano es mayor que el rendimiento del gasoil C (en condiciones normales de 25 °C y 1 atm)

COMBUSTIBLE	RENDIMIENTO (%)
Gasoil C	80
Propano	85

Tabla 5.4 Comparación de los rendimientos con los dos combustibles estudiados

Consumos anuales

El consumo anual de gasoil C en las instalaciones se sitúa en 88.598 litros (2015). Con este dato se calcula el consumo de propano equivalente al mismo año conocidos los datos anteriormente expuesto de la diferencia entre los poderes caloríficos de uno y otro combustible, así como el rendimiento térmico de cada uno de ellos.

Se tiene por tanto que el consumo equivalente de propano es:

$$\text{Propano (kg)} = 88598 \text{ l} \frac{8700}{11082} (\text{Relación de PCI}) \frac{0,8}{0,85} (\text{Relación de Rendimientos}) = 65.463 \text{ l}$$

Por lo que el consumo equivalente de propano anual es de **65.463 litros**

Costes anuales

Para obtener los costes anuales de la comparación de los combustibles primero se obtienen los costes unitarios de cada uno de ellos. En el caso del propano el coste se sitúa en 0,72 €/kg (precio más desfavorable del BOE) mientras que el coste del gasoil es muy variable, por lo que se utiliza para la comparación el coste más bajo de venta a la empresa auditada, que en este caso es de 0,6 €/l

Con este coste unitario y el consumo anual expuesto anteriormente ya se puede realizar la comparación de los costes anuales con cada uno de los combustibles, incluyendo una reducción en los costes de mantenimiento del 10% del propano frente al gasoil

COMBUSTIBLE	COSTE ANUAL (€)
Gasoil C	53159
Propano	42420

Tabla 5.5 Comparación de los costes anuales con cada uno de los combustibles

Con lo que el **ahorro anual** en costes de combustible es de **10.739 €**.

Reducción de contaminantes

A este ahorro debido a la diferencia del consumo de combustibles y su coste hay que añadir el ahorro anual debido a la reducción de contaminantes a la atmósfera.

Existe un impuesto por emisiones de CO₂ por tonelada de combustible.

Las emisiones de CO₂ a la atmósfera por kWh de gasoil C es de un 0,34 kg de CO₂ por kg de gasoil, mientras que en el caso del propano es de 0,2 kg por de propano.

Con el coste del impuesto de emisiones de 20€ la tonelada de emisión de CO₂ se tiene:

COMBUSTIBLE	kg CO2/ kg combustible	toneladas de CO2/año	Coste emisiones (€)
Gasoil C	0,34	301	6013
Propano	0,2	181	3614
AHORRO EMISIONES			2399

Tabla 5.6 Ahorro producido con la reducción de contaminantes

Se consigue un ahorro en emisiones de CO₂ de 120 toneladas al año, lo que equivale a plantar 180 árboles.

Por tanto el ahorro anual es la suma del ahorro conseguido con la diferencia de costes de los combustibles (10.739€) y la reducción de las emisiones (2.400€), por lo que el **ahorro anual total** se sitúa en **13.138 €**

La inversión necesaria para la realización de este proyecto se ha estimado teniendo en cuenta el precio del cambio de los quemadores, así como los costes de instalación. Con las características de la cadena de pintura el precio se sitúa en torno a 50.000 € (presupuesto estimado realizado a la empresa para una propuesta de cambio de combustible por parte de una empresa gasista)

Analizando la inversión a realizar y la rentabilidad de la misma, se obtiene:

- Inversión del proyecto: 50.000 €
- Ahorro anual: 13.138 €
- Pay-back: 4 años

Esta propuesta tiene un periodo de retorno más elevado que las anteriores, pero sigue siendo muy favorable ya que

CONCLUSIONES

Con el estudio de la situación de la empresa en el momento actual y sus características del proceso se han propuesto una serie de proyectos de mejora de la eficiencia, los cuales tienen una mayor rentabilidad para la empresa.

Existía la posibilidad de realizar otros proyectos de mejora pero estos fueron descartados debido a su poca rentabilidad y falta de oportunidades de mejora considerables, muchos de ellos pertenecientes a la parte del consumo eléctrico de las instalaciones.

Algunos de los que se han descartado se propusieron en la reunión inicial con el director. Estas son los proyectos de mejora descartados:

- Cambio de transformador. Se propuso el cambio del transformador actual por uno de alta eficiencia, pero el actual se había sido reemplazado en 2009, por lo que debido a la elevada vida útil de los transformadores, este proyecto no era viable.
- Cambio de motores. Realizar un estudio de eficiencia a los motores presentes en las instalaciones, pero estos no podían ser cambiados ya que estaban dentro de la maquinaria, por lo que un cambio de motor implicaba el cambio de la máquina en su conjunto, por lo que se descartó esta medida. Existían algunos motores de muy poca potencia con posibilidad de cambiar pero su consumo era muy bajo para que existiera un ahorro considerable y fuera rentable.
- Estudio de cambio de tarifa. Con respecto a este proyecto había un gran interés en su realización porque se preveía un ahorro potencial importante. Se propuso en la entrevista inicial con el director un cambio a pool pero no producía un ahorro, ya que al ser una empresa de alto consumo eléctrico, la tarifa actual contenía un descuento que la propuesta de cambio no producía ahorros.
- Cubierta fotovoltaica. Para la reducción de la potencia contratada se propuso la colocación de paneles fotovoltaicos en la cubierta, pero su elevado coste de implantación y la negativa del director a incluir mejoras con un periodo de retorno muy elevado hicieron este proyecto irrealizable.

Con todo esto finalmente se proponen tres mejoras en las instalaciones, todas pertenecientes a la parte térmica, la cual, como es habitual en la industria, suelen estar bastante más descuidadas y existen mayores oportunidades de ahorro.

Con ellas se producen ahorros anuales totales muy importantes (30.000 €) y cuyos periodos de retorno son muy bajos, por lo que la realización de las propuestas es muy asequible y favorecedora para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Andaluza de la Energía. *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*, Sevilla.
2. Canadian Industry and Office of Energy Efficiency of Natural Resources. *Energy Savings Toolbox. An Energy audit Manual and Tool*, Canada.
3. Consejería de Economía y Hacienda. *Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la comunidad de Madrid*, Comunidad de Madrid.
4. Velazquez Alonso, D. *Tecnología energética. Intercambiadores*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2014-2015.
5. Velazquez Alonso, D. *Eficiencia Energética en el Sector Industrial*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015-2016.
6. González Falcón R., Velazquez Alonso, D. *Tablas y Gráficos. Tecnología Energética*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Febrero, 2014.
7. Pérez-Lombard Martín de Oliva, L. *Eficiencia Energética en Instalaciones Térmicas en la Edificación*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015-2016.
8. Muñoz De la Peña Sequedo, D. *Control en Sistemas Energéticos*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2015-2016.
9. Garcia López, G.A. *¿Cómo cumplo con el RD 56/16?* Asociación de Empresas de Eficiencia Energética, Murcia, 2016.
10. IEA (International Energy Agency). *Key World Energy Statistics*. Paris, 2015.
11. Rodríguez Estepa, Antonio José. *Indicadores Energéticos Moresil S.L.* Sevilla, 2016.
12. Segenet. *Datos de carga cuartohoraria Moresil S.L.* Cordoba, 2016
13. Eurostat. *Final Energy Consumption. Database*. <http://ec.europa.eu>.
14. Tarifa Eléctrica. *Tarifas AT 3.1*. <http://www.tarifa-electrica.es>
15. Joma Automatismos. *Motores para puertas correderas*. <https://joma-automatismos.es>

ANEXOS

En este apartado se muestran los datos necesarios para la realización del proyecto que no han sido incluidos en la memoria descriptiva del mismo. La referencia a estos se realiza en cada uno de los apartados en los que han sido necesarios.

Anexo 1

TÚNEL DE PRETRATAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE.

Tipo: Por aspersión de 3 fases, para operar en continuo con tomas de extracción de vapores a la entrada.

DATOS TÉCNICOS

Dimensiones:

Largo total:	22.500 mm.
Ancho del cuerpo:	2.100 mm.
Ancho de las cubas:	2.800 mm.
Alto sin motor	3.550 mm.

Velocidad 0'5 metros/minuto.

Aporte calorífico GASÓLEO.

Gálibo:

Ancho:	1.500 mm.
Alto:	1.900 mm.

SECUENCIA:

- ENTRADA.
- DESENGRASE ~ FOSFATADO. 180 segundos. Tª 50°C.
- INTERFASE.
- LAVADO. 72 segundos. Tª AMBIENTE.
- INTERFASE.
- LAVADO. Tª AMBIENTE.
- SALIDA.

Túnel de pretatamiento de secado de humedades. Fuente: Moresil S.L

HORNO SECADO DE HUMEDADES

Tipo: LONGITUDINAL.

La finalidad de este horno es el secado de humedad de las piezas, procedentes de túnel de pretratamiento.

DATOS TÉCNICOS:

Largo:	8.400 mm.
Ancho total:	2.350 mm.
Alto:	4.450 mm.
Recorrido:	8.400 mm.
Gálibo de paso:	
Ancho:	1.500 mm.
Alto:	1.900 mm.
Tiempo de secado / soplado:	16 min.
Aislamiento:	Planchas de lana de roca de 150 mm. de espesor.
TEMPERATURAS: (Regulable)	
	máx. 160°C.
	trabajo. 120°C.
Aporte calorífico:	GASÓLEO.
Potencia calorífica instalada:	400.000 Kcal/h.
Consumo (en régimen a 120°C):	340.860 Kcal/h.
Caudal de aire en circulación:	16.000 m ³ /h.
Potencia de los motores:	2 x 5'5 cv.

Horno de secado de humedades. Fuente: Moresil S.L

HORNO DE POLIMERIZADO

TIPO: LONGITUDINAL.

DATOS TÉCNICOS:

Dimensiones exteriores:

Largo máx.:	14.000 mm.
Ancho:	2.000 mm.
Ancho máx.:	3.800 mm.
Alto:	3.300 mm.

Gálbo de paso:

Ancho:	1.500 mm.
Alto:	1.900 mm.

Tiempo de precalentamiento + Tiempo de polimerizado: 21'4 min.

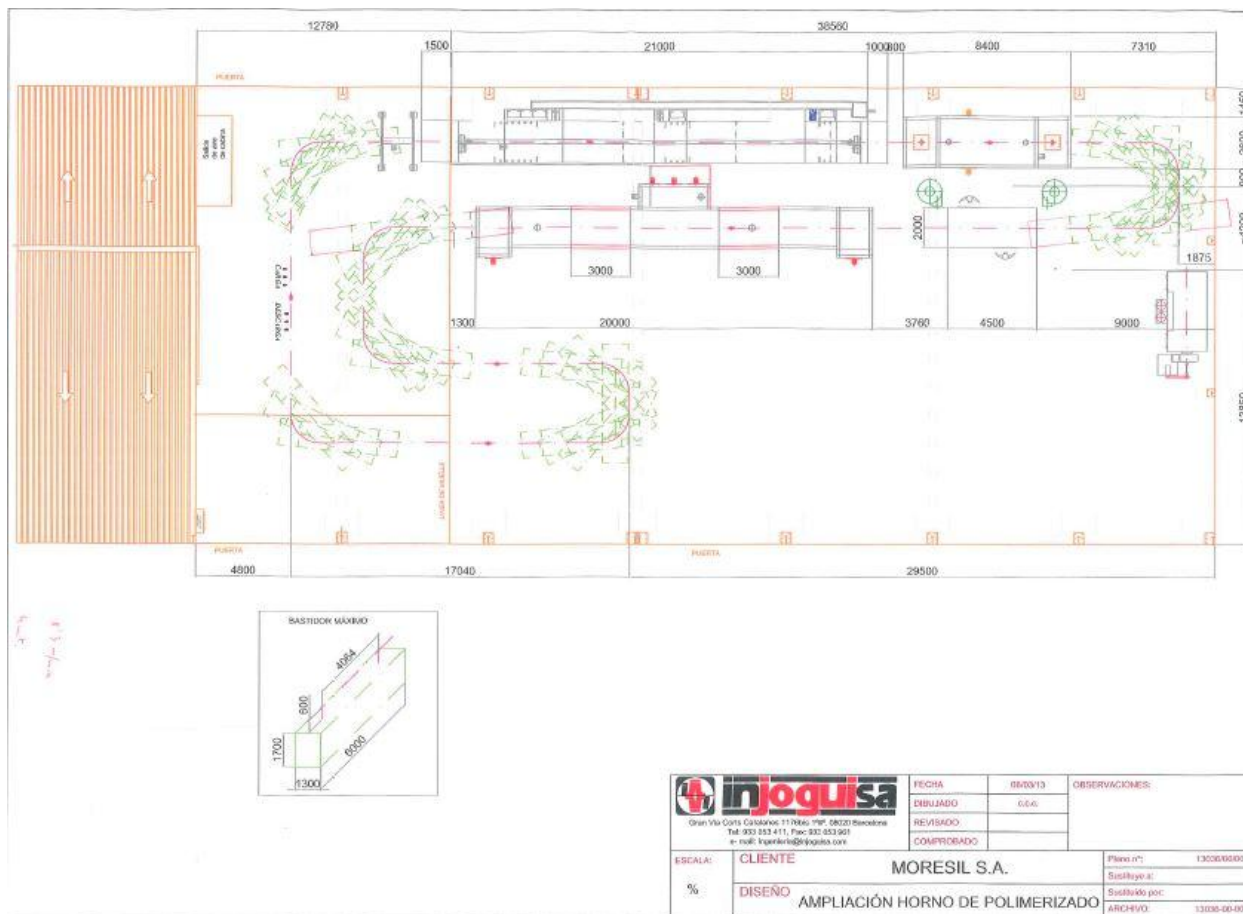
Aislamiento: Planchas de lana de roca de 150 mm. de espesor.

Temperaturas: (Regulable)

Máx.	215° C.
Trabajo.	200° C.

Aporte calorífico:	GASÓLEO.
Potencia calorífica instalada:	500.000 Kcal/h.
Consumo (en régimen a 200 °C):	410.454 Kcal/h.
Caudal de aire en circulación:	21.000 m³/h.
Potencia de los motores:	3 x 4 cv.

Horno de polimerizado. Fuente: Moresil S.L



Plano de la cadena de pintura. Fuente: Moresil S.L

Anexo 2

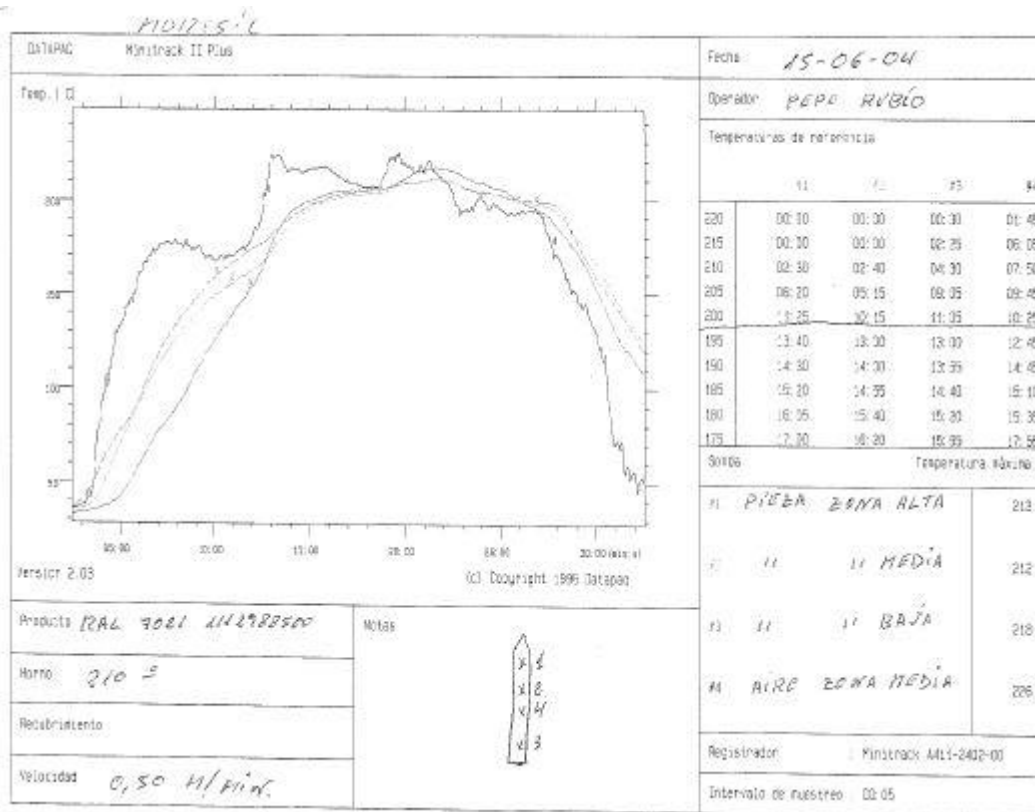
Total KW	Moresil	POTENCIA						CONSUMO			TOTALES						
		P1 Medida	P1 Cobrada	P2 Medida	P2 Cobrada	P3 Medida	P3 Cobrada	P2 LLANO	P3 VALLE	P1 PUNTA	ENDESA Potencia	ENDESA Consumo	FENOSA Potencia	FENOSA Consumo	ENDESA	U. FENOSA	Diferencias
0											0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
0											0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
0											0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
0	ene-10										0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
33551	dic-09	160,00	195,50	264,00	309,00	232,00	232,00	25320	4387	3844	695,32	3678,777172	0,00	3212,832826	4.374,10	3.212,83	-1161,266520
31012	nov-09	128,00	153,00	244,00	383,00	184,00	196,08	22198	4523	4291	0,00	3390,592806	0,00	2967,059933	3.390,59	2.967,06	-423,532873
28243	oct-09							12718	5560	9965	0,00	3103,518338	0,00	2738,890229	3.103,52	2.738,89	-364,628109
38905	sep-09							15332	8192	15381	0,00	4273,821028	0,00	3779,487815	4.273,82	3.779,49	-494,333213
47005	ago-09							18011	11421	17573	0,00	5090,466749	0,00	4517,32721	5.090,47	4.517,33	-573,139539
44342	jul-09							15944	10928	17470	0,00	4806,713320	0,00	4268,238682	4.806,71	4.268,24	-538,474638
46134	jun-09							17211	10650	18273	0,00	5030,926017	0,00	4459,39236	5.030,93	4.459,39	-571,533657
35397	may-09							14220	7252	13925	0,00	3895,674604	0,00	3442,777335	3.895,67	3.442,78	-452,897269
34068	abr-09							13063	5577	15428	0,00	3830,031193	0,00	3371,666871	3.830,03	3.371,67	-458,364322
38353	mar-09							25812	5381	7160	0,00	4224,128864	0,00	3696,553886	4.224,13	3.696,55	-527,574978
30960	feb-09							23796	4178	2986	0,00	3382,699124	0,00	2954,908422	3.382,70	2.954,91	-427,790702
35220	ene-09							26730	5194	3296	0,00	3829,283110	0,00	3349,565034	3.829,28	3.349,57	-479,718076
60324	dic-08							43.797	5.885	10.642	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
34910	nov-08							25.603	2.461	6.847	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
46541	oct-08							27.942	4.273	14.326	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
46335	sep-08							25.175	6.932	14.227	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
42669	ago-08							21.739	6.623	14.307	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
44675	jul-08							13.297	5.904	25.474	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
39846	jun-08							13.580	3.765	22.501	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
35829	may-08							11.007	2.735	22.087	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
29405	abr-08							15.835	2.922	10.648	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
20043	mar-08							14.972	2.165	2.906	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
24311	feb-08							19.827	2.195	2.289	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
19357	ene-08							14.508	2.378	2.471	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
36142	dic-07							23.872	4.530	7.740	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
20829	nov-07							13.955	1.894	4.980	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
28939	oct-07							15.230	3.289	10.420	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
29406	sep-07							13.722	5.336	10.348	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
27353	ago-07							11.849	5.098	10.406	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
27999	jul-07							14.123	4.093	9.783	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
25675	jun-07							14.424	2.610	8.641	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
22069	may-07							11.691	1.896	8.482	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
22934	abr-07							16.819	2.026	4.089	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
18519	mar-07							15.902	1.501	1.116	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
22873	feb-07							19.622	2.010	1.241	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
18470	ene-07							14.558	2.018	1.894	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
								433.051	40.874	83.900	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000000
												0,00		0,00			

Consumo eléctrico 2007,2008, 2009, 2010. Fuente: Moresil S.L

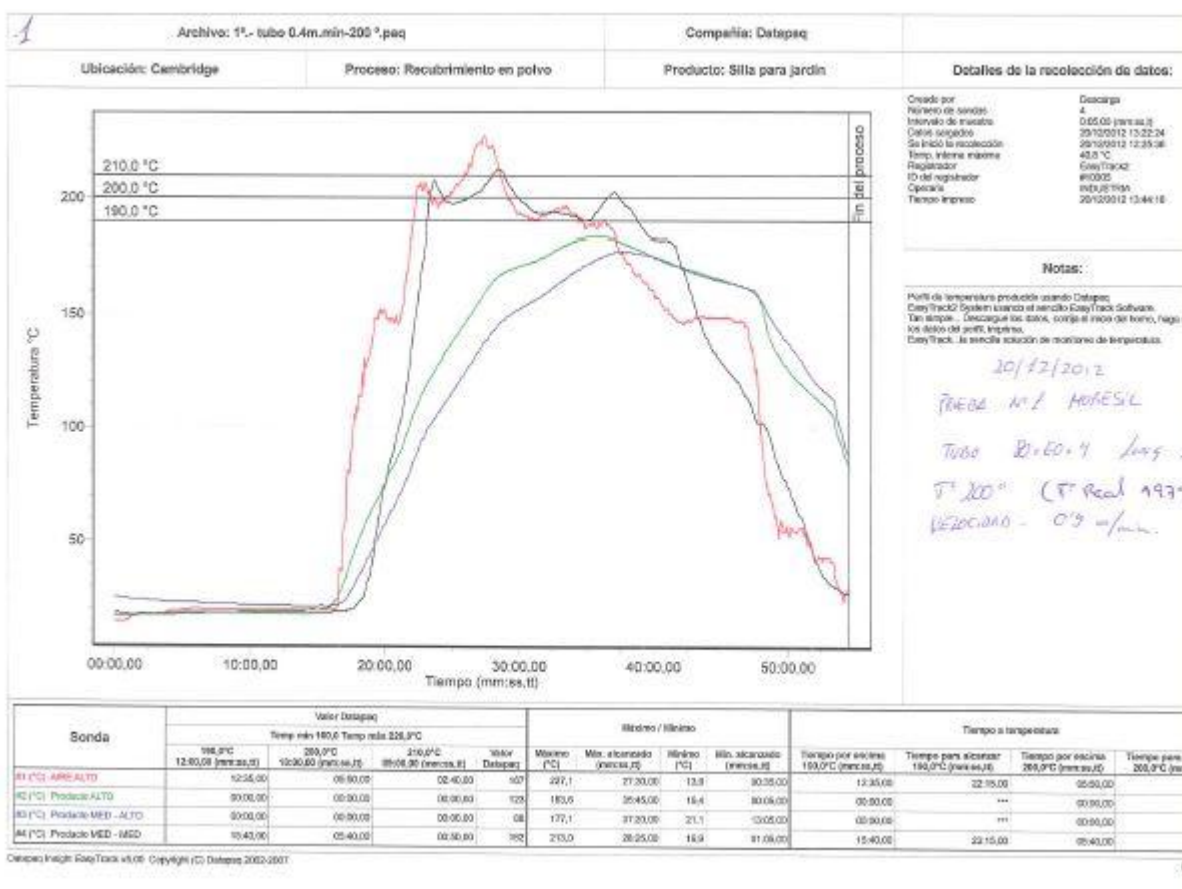
MORESIL								Totales		
	P2	P3	P1	ENDESA		FENOSA		ENDESA	U. FENOSA	Diferencias
MES	LLANO	VALLE	PUNTA	Potencia	Consumo	Potencia	Consumo			
dic-08	43.797	5.885	10.642	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
nov-08	25.603	2.461	6.847	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
oct-08	27.942	4.273	14.326	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
sep-08	25.175	6.932	14.227	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
ago-08	21.739	6.623	14.307	593,09	3902,765272	548,30	3744,693444	4.495,85	4.293,00	-202,856166
jul-08	13.297	5.904	25.474	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
jun-08	13.580	3.765	22.501	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
may-08	11.007	2.735	22.087	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
abr-08	15.835	2.922	10.648	0,00	0,000000	0,00	0	0,00	0,00	0,000000
mar-08	14.972	2.165	2.906	593,09	1813,300341	548,30	1725,13237	2.406,39	2.273,44	-132,952300
feb-08	19.827	2.195	2.289	593,09	2195,916968	548,30	2084,363516	2.789,00	2.632,67	-156,337788
ene-08	14.508	2.378	2.471	593,09	1740,699872	548,30	1654,629068	2.333,79	2.202,93	-130,855144
dic-07	23.872	4.530	7.740	593,09	3282,718922	548,30	3132,857668	3.875,81	3.681,16	-194,645599
nov-07	13.955	1.894	4.980	593,09	1914,632645	548,30	1829,467602	2.507,72	2.377,77	-129,949377
oct-07	15.230	3.289	10.420	593,09	2683,427855	548,30	2577,702942	3.276,52	3.126,01	-150,509244
sep-07	13.722	5.336	10.348	593,09	2676,774674	548,30	2570,151332	3.269,86	3.118,45	-151,407677
ago-07	11.849	5.098	10.406	593,09	2495,376323	548,30	2398,995942	3.088,46	2.947,30	-141,164711
jul-07	14.123	4.093	9.783	593,09	2571,345470	548,30	2468,773152	3.164,43	3.017,08	-147,356655
jun-07	14.424	2.610	8.641	593,09	2381,362848	548,30	2285,230068	2.974,45	2.833,53	-140,917111
may-07	11.691	1.896	8.482	593,09	2066,864979	548,30	1987,582086	2.659,95	2.535,89	-124,067222
abr-07	16.819	2.026	4.089	593,09	2094,041655	548,30	1995,417722	2.687,13	2.543,72	-143,408266
mar-07	15.902	1.501	1.116	593,09	1669,829891	548,30	1582,551078	2.262,92	2.130,85	-132,063144
feb-07	19.622	2.010	1.241	593,09	2057,194606	548,30	1949,0504	2.650,28	2.497,35	-152,928544
ene-07	14.558	2.018	1.894	593,09	1661,735004	548,30	1577,804704	2.254,82	2.126,11	-128,714633
		40.874	83.900	9.489,40	37.207,99	8.772,85	35.564,40	46.697,39	44.337,25	-2360,133600
			TOTAL		46.697,39		44.337,25			
					5,32%					-2360,133600
									+ Impto ele	-120,666466
						Reaja de un 5% hasta 31-12-08				-2480,800077

Comparativa contratación Endesa-Fenosa. Fuente: Moresil S.L

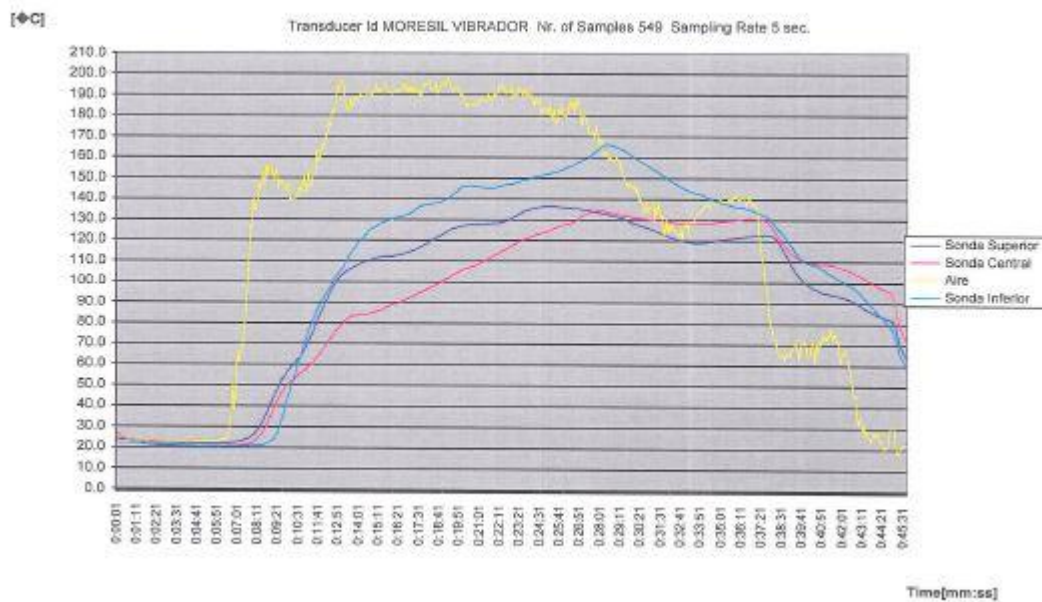
Anexo 3



Estudio térmico realizado en 2004. Fuente: Moresil S.L.



Estudio térmico realizado en 2012. Fuente: Moresil S.L.



Estudio térmico realizado en 2015. Fuente: Moresil S.L

Anexo 4

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$\overline{Nu_D} = 3.66 + \frac{0.0668(D/L) Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L) Re_D Pr]^{2/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$\overline{Nu_D} = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, ($n = 0.4$ para $T_s > T_m$) $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pr < 10^4$	Tª media masa	Skupinski

Correlación 27. Fuente: Tablas y Gráficas Tecnología Energética

O. D. of Tubing	B.W.G. Gauge	Thickness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Steel Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0333	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0024	56	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00060	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.233	.0374
3/8	22	.029	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.163	.0511
1/2	22	.028	.1548	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.407	.0061	.0197	.1864	203	1.536	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	16	.065	.1974	.1636	.1296	.388	.499	.0045	.0145	.1993	300	1.263	.114
5/8	17	.058	.2134	.1636	.1333	.350	.509	.0043	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	18	.049	.2318	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	19	.042	.2498	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	20	.035	.2619	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.134	.1825	.1963	.1262	.804	.482	.0129	.0344	.2229	265	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	318	1.471	.218
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.339	.196
3/4	14	.083	.2679	.1963	.1529	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.239	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.204	.140
3/4	17	.058	.3157	.1963	.1660	.420	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3338	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1780	.269	.680	.0050	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2092	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	251	1.441	.212
7/8	11	.120	.2366	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	284	1.378	.265
7/8	12	.109	.2590	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	329	1.332	.262
7/8	13	.095	.2845	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	375	1.277	.233
7/8	14	.083	.3048	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	416	1.234	.207
7/8	16	.065	.3359	.2291	.1950	.561	.745	.0137	.0312	.2873	460	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2955	510	1.126	.127
7/8	20	.035	.4090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	564	1.067	.092
1	8	.165	.3526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	350	1.493	.430
1	10	.134	.4208	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	416	1.366	.364
1	11	.120	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	488	1.316	.332
1	12	.109	.4863	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	564	1.279	.305
1	13	.095	.5153	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	644	1.235	.270
1	14	.083	.5463	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	729	1.199	.239
1	15	.072	.5755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	818	1.167	.210
1	16	.065	.5945	.2618	.2278	.649	.870	.0210	.0419	.3314	912	1.149	.191
1	18	.049	.6390	.2618	.2361	.495	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.6793	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.180	.6221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	470	1.404	.605
1-1/4	8	.165	.6648	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	537	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.7574	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	612	1.273	.470
1-1/4	11	.120	.8012	.3272	.2644	1.448	1.010	.0688	.1100	.4018	690	1.238	.426
1-1/4	12	.109	.8365	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	771	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.8825	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	857	1.179	.345
1-1/4	14	.083	.9229	.3272	.2838	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	948	1.153	.304
1-1/4	16	.065	.9852	.3272	.2932	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1044	1.116	.242
1-1/4	18	.049	1.044	.3272	.3016	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1146	1.085	.185
1-1/4	20	.035	1.094	.3272	.3089	.456	1.180	.0247	.0395	.4297	1254	1.058	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1354	.1806	.4853	1850	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.291	.3927	.3356	1.618	1.282	.1159	.1546	.4923	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.083	1.398	.3927	.3492	1.358	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.474	.3927	.3587	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2359	1.095	.293
2	11	.120	2.432	.5236	.4608	2.410	1.760	.2144	.3144	.6660	3795	1.136	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2586	.2586	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	9	.148	3.815	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.8332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2833#/inch³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09

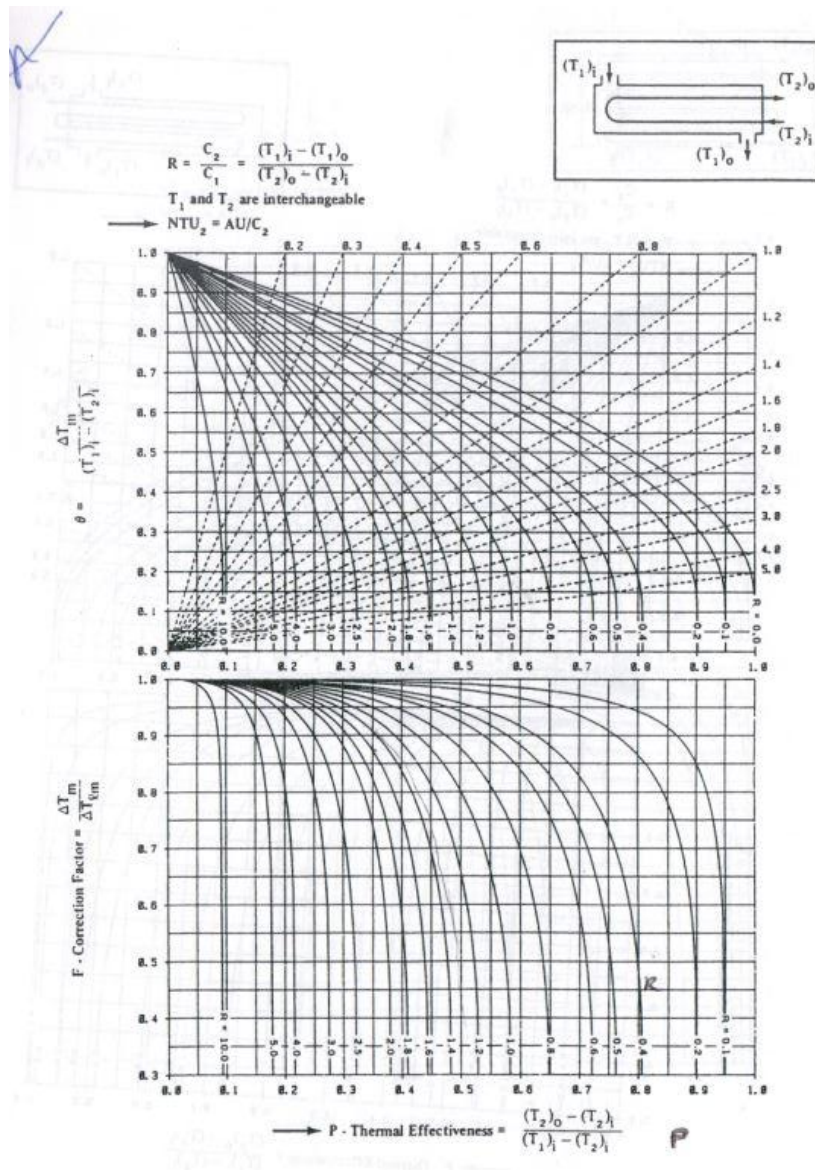
Tipología de tubos. Fuente: Tablas y Gráficas Tecnología Energética

Tabla 4.5: Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^5$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.1523	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.209	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.2594	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.347	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.4420	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.1620	0.5827	2.551
75	975.0	4.191	378.0	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673.0	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.723	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

Propiedades del agua. Fuente: Tablas y Gráficas Tecnología Energética



Gráfica 4.1.1: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos tipo E con cualquier número de pasos por tubos.

Gráfica para el cálculo del factor corrector. Fuente: Tablas y Gráficas Tecnología Energética

TABLE 9.2 U & C VALUES FOR SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS (courtesy of Johnson Hunt Ltd)

$\dot{Q}/\Delta T$ (W/K)	Cold Side Fluid	Parameter	Hot Side Fluid								
			Low Pressure Gas (<1 bar)	Medium Pressure Gas (20 bar)	High Pressure Gas (150 bar)	Process Water	Low Viscosity Organic Liquid	High Viscosity Liquid	Condensing Steam	Condensing Hydrocarbon	Condensing Hydrocarbon with Inert Gas
1 000	Low Pressure Gas (<1 bar)	U ($W/m^2 K$)	55	93	120	102	99	63	107	100	86
		C ($E/(W/K)$)	5.70	5.02	5.51	4.93	4.96	5.50	4.87	4.95	5.11
	Medium Pressure Gas (20 bar)	U ($W/m^2 K$)	93	300	350	429	375	120	530	388	240
		C ($E/(W/K)$)	5.02	4.18	4.81	4.03	4.09	4.76	3.95	4.07	4.28
	High Pressure Gas (150 bar)	U ($W/m^2 K$)	120	350	400	600	450	200	600	400	300
		C ($E/(W/K)$)	5.51	4.81	6.25	4.56	4.38	5.50	4.56	4.82	4.81
	Treated Cooling Water	U ($W/m^2 K$)	105	484	600	938	714	142	1607	764	345
		C ($E/(W/K)$)	4.89	3.98	4.56	3.77	3.85	4.59	3.61	3.83	4.12
	Low Viscosity Organic Liquid	U ($W/m^2 K$)	99	375	450	600	500	130	818	524	286
		C ($E/(W/K)$)	4.96	4.09	4.38	3.91	3.97	4.67	3.81	3.95	4.20
	High Viscosity Liquid	U ($W/m^2 K$)	68	138	200	161	153	82	173	155	124
		C ($E/(W/K)$)	5.39	4.61	5.50	4.46	4.51	5.16	4.42	4.50	4.33
	Boiling Water	U ($W/m^2 K$)	105	467	550	875	677	140	1432	722	336
		C ($E/(W/K)$)	4.89	3.99	4.91	3.79	3.87	4.60	3.64	3.85	4.13
Boiling Organic Liquid	U ($W/m^2 K$)	99	375	450	600	500	130	818	524	286	
	C ($E/(W/K)$)	4.96	4.09	4.38	3.91	3.97	4.67	3.81	3.95	4.20	
5 000	Low Pressure Gas (<1 bar)	U ($W/m^2 K$)	55	93	120	102	99	63	107	100	86
		C ($E/(W/K)$)	2.11	1.63	2.26	1.58	1.59	1.95	1.55	1.59	1.68
	Medium Pressure Gas (20 bar)	U ($W/m^2 K$)	93	300	350	429	375	120	530	388	240
		C ($E/(W/K)$)	1.63	1.11	1.89	1.02	1.05	1.49	0.98	1.05	1.18
	High Pressure Gas (150 bar)	U ($W/m^2 K$)	120	350	400	600	450	200	600	400	300
		C ($E/(W/K)$)	2.26	1.89	2.25	1.10	1.46	1.93	1.10	1.45	1.45
	Treated Cooling Water	U ($W/m^2 K$)	105	484	600	938	720	142	1607	764	345
		C ($E/(W/K)$)	1.56	1.00	1.10	0.88	0.91	1.41	0.83	0.90	1.07
	Low Viscosity Organic Liquid	U ($W/m^2 K$)	99	375	450	600	500	130	818	524	286
		C ($E/(W/K)$)	1.59	1.05	1.46	0.95	0.99	1.46	0.89	0.98	1.13
	High Viscosity Liquid	U ($W/m^2 K$)	68	138	200	161	153	82	173	155	124
		C ($E/(W/K)$)	1.86	1.43	1.93	1.36	1.38	1.71	1.32	1.37	1.48
	Boiling Water	U ($W/m^2 K$)	105	467	550	875	677	140	1432	722	336
		C ($E/(W/K)$)	1.56	1.00	1.20	0.88	0.93	1.42	0.84	0.91	1.08
Boiling Organic Liquid	U ($W/m^2 K$)	99	375	450	600	500	130	818	524	286	
	C ($E/(W/K)$)	1.59	1.05	1.46	0.95	0.99	1.46	0.89	0.98	1.13	

Coste del intercambiador según tipología de fluidos. Fuente: Tablas y Gráficas Tecnología Energética

