

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
I.C.A.I**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**



**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL AUTOMATIZADA Y SOSTENIBLE.**

**PLANTA CERÁMICA**

**Tutor:** Íñigo Sanz Fernández

**Autor:** Rodrigo Ibáñez Soriano

**Co-Director:** Juan Norverto Moriñigo

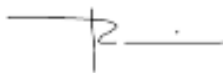
Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Diseño de una planta industrial automatizada y sostenible. Planta cerámica.  
en la ETSI de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha  
sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

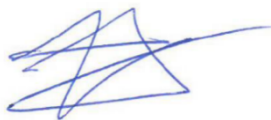
Fdo.: Rodrigo Ibáñez Soriano      Fecha: 25/ 05/ 2021



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Fernández Sanz      Fecha: 25/ 05/ 2021





## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Rodrigo Ibáñez Sorinao

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Diseño de una planta industrial automatizada y sostenible. Planta cerámica, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

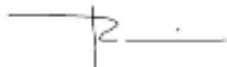
**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 25 de Mayo de 2021

**ACEPTA**



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
I.C.A.I**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**



**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL AUTOMATIZA Y SOSTENIBLE.**

**PLANTA CERÁMICA**

**Tutor:** Íñigo Sanz Fernández

**Autor:** Rodrigo Ibáñez Soriano

**Co-Director:** Juan Norverto Moriñigo

Madrid



# DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL AUTOMATIZADA Y SOSTENIBLE. PLANTA CERÁMICA

**Autor: Ibáñez Soriano, Rodrigo**

Director: Sanz Fernández, Íñigo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

Durante el presente proyecto se van a diseñar diversas inversiones y mejoras con el objetivo de maximizar la eficiencia energética y la sostenibilidad de una planta industrial productora de pavimento cerámico.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, emisiones, generación de residuos, técnicas predictivas y preventivas, controladores y ERP.

### 1. Introducción

La planta que va a ser tratada es una planta de producción de pavimento cerámico. Se ha optado por este sector debido a su alto grado de desarrollo tecnológico e importancia en la industria española.

En el proceso productivo de dicha industria se diferencian diversas etapas: preparación de las materias primas, prensado, secado, esmaltado, cocción y corte y mecanizado.

A lo largo de dichas etapas, durante el presente proyecto, se van a diseñar ciertas mejoras que pretenden optimizar la eficiencia energética y la sostenibilidad.

### 2. Definición del proyecto

Se va a abordar el proceso productivo, mediante una toma de datos correspondiente con la realidad del sector, desde un aspecto cualitativo y cuantitativo.

Con todo esto se van a diseñar las siguientes mejoras:

- Mejora de la eficiencia energética de la planta.

- Emisiones y generación de residuos sostenibles, fomentando una economía circular.
- Automatización y control de procesos.

### **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

Con todas las investigaciones realizadas y el análisis de los datos correspondientes se han decidido diseñar las siguientes inversiones para mejorar los siguientes aspectos de la planta:

#### **Eficiencia energética**

Se va a diseñar un intercambiador de calor residual horno-secadero para el aprovechamiento integro de la energía y la reducción de temperatura de los gases de salida. Por otro lado, se va a implementar un sistema de captación de energía solar mediante paneles fotovoltaicos. Por último, se va a diseñar un aislamiento térmico de ciertas partes del horno y puntos críticos de pérdida masiva de temperatura.

#### **Emisiones y gestión de residuos.**

Adicionalmente, se van a diseñar diversos sistemas de tratamiento de residuos dependiendo del aspecto que se esté tratando; agua (EDAR, depuradora para tratar los lodos cerámicos provenientes del proceso productivo), aire (filtros de mangas catalíticas, para controlar las emisiones atmosféricas nocivas y las partículas de polvo) y suelo (trituradora y reaprovechamiento del polvo), para mejorar la sostenibilidad de la planta y fomentar la economía circular.

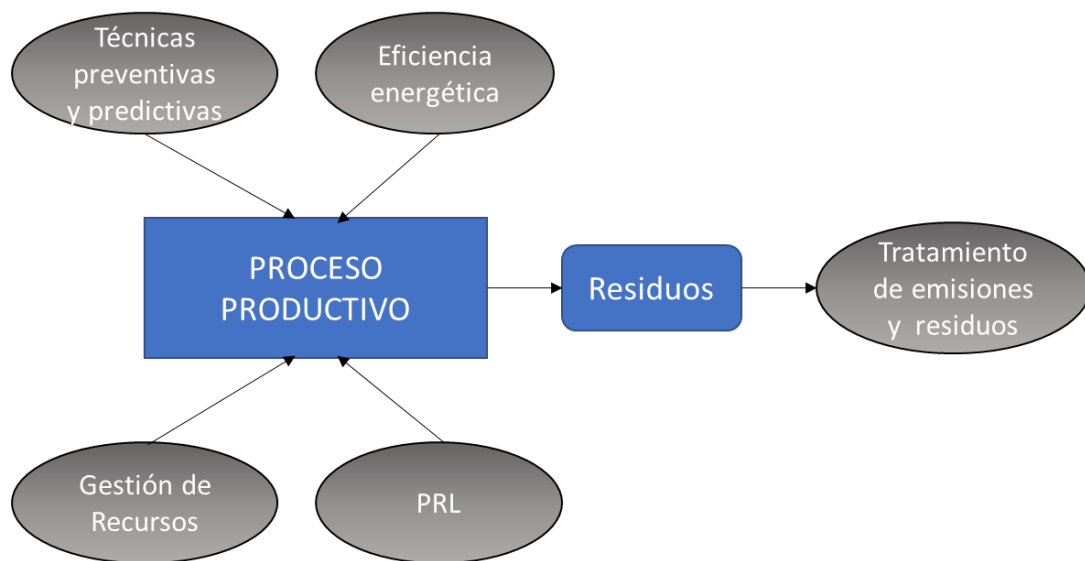
#### **Técnicas predictivas y preventivas, y controladores.**

Por otra parte, se van a diseñar diversas técnicas de prevención y predicción (Rayos X), así como también ciertos controladores (PID y lazo abierto). Esto permitirá tener un seguimiento, control y automatización total sobre el proceso productivo y un seguimiento de la producción.

Además, se va a implementar un **Sistema de gestión de recursos** (ERP) para obtener un control de los procesos productivos, la EDAR y los trámites administrativos y financieros.

Por último, se va a establecer los **PRL** para la certificar seguridad de los operarios.

Todas estas inversiones van a estar presupuestadas y, parte de ellas, subvencionadas por ayudas públicas, lo que hará más económico y viable la ejecución de este proyecto.



*Ilustración 1. Diagrama de bloques de los diseños a implementar en el proceso productivo.*

#### 4. Resultados

- Mediante estas inversiones se va a conseguir optimizar la eficiencia energética de la planta.

Se va a conseguir soportar el 100% del consumo energético del secadero gracias al intercambiador de calor horno-secadero. Además, de reducir las pérdidas de calor gracias a los aislantes térmicos implementados.

Por otro lado, gracias a la instalación fotovoltaica se va a autoconsumir toda la energía necesaria para el funcionamiento de la planta, cuando la energía generada supere al consumo instantánea, la energía será exportada a la red, produciendo así beneficios.

Estas inversiones poseen un payback máximo de 6,66 años haciendo viable la inversión.

- También, se va a fomentar la economía circular, así como también la sostenibilidad de la planta, gracias al tratamiento de los residuos generados en la planta. Tanto los lodos como los residuos sólidos y el polvo serán reintroducidos en el proceso productivo como materias primas. Por otro lado, las emisiones atmosféricas se encontrarán por debajo de los límites establecidos.
- Por último, se va a conseguir un elevado grado de automatización y control de los procesos productivos llevados a cabo, gracias a los diseños de los controladores, sistemas preventivos y predictivos y la introducción de los sistemas de gestión de recursos.

## 5. Conclusiones

El sector cerámico posee un alto nivel de desarrollo tecnológico. No obstante, mediante estas inversiones se ha propuesto un modelo económicamente viable, rentable y efectivo para conseguir una mejora sustancial en los aspectos medioambientales y energéticos de cara al presente y futuro, donde estas facetas poseen una importancia primordial.

Para ello, se ha realizado un modelo para la captación de energía dedicada al autoconsumo, un aprovechamiento energético de alta eficiencia, un sistema de control y automatismos de procesos y un tratamiento de todos aquellos residuos generados por la planta, siendo estos reintroducidos en su totalidad en el proceso productivo como materia prima.

## 6. Referencias

- 1) Autoconsumo, K. y. (31 de Diciembre de 2017). *mi kitsolar*. Obtenido de mi kitsolar: <https://www.mikitsolar.es/blog/kwh-y-kwp-las-dos-unidades-de-medicion-del-autoconsumo-n211>
- 2) Badea, G. (2017). *Diseño de una EDAR para el tratamiento de aguas residuales de la industria cerámica para su reutilización en una planta de fabricación de polvo atomizado*. Castellón: UJI.

- 3) calor, I. d. (1 de Septiembre de 2019). *sifo.comillas.edu*. Obtenido de ICAI : <https://sifo.comillas.edu/course/view.php?id=25899#section-5>
- 4) Cerámica, M. (1 de Enero de 2021). *Maquinaria Cerámica*. Obtenido de Sem: <https://www.semsl.es>
- 5) Díaz, Ó. M. (Marzo de 2008). DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS y CARCASA (1-2) PARA UNA PLANTA QUÍMICA ASOCIADA A UNA FUNDICIÓN PIROMETALÚRGICA. Madrid, Madrid, España.
- 6) Emison. (s.f.). *Emision*. Obtenido de Emison: [https://www.emison.es/medioambiente/pdf/humos/filtro%20de%20man gas.pdf](https://www.emison.es/medioambiente/pdf/humos/filtro%20de%20man%20gas.pdf)
- 7) Gasch, J. G. (2006). *CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA. EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS*. Castellón : Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas Universitat Jaume I. Castellón. España.
- 8) HUB, E. S. (24 de Marzo de 2021). *European Comission* . Obtenido de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- 9) Martínez, R. C. (Junio de 2011). GUIA PARA SELECCIONAR INTERCAMBIADORES DE CALOR. San Luís de Potosí, San Luís de Potosí, México.
- 10) policristalinos, P. m. (6 de Noviembre de 2020). *Sotysolar*. Obtenido de Sotysolar: <https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>
- 11) residuos, G. d. (s.f.). *Gestores de residuos*. Obtenido de Gestores de residuos en España y mucho más: [http://www.gestoresresiduos.es/codigos\\_ler.html](http://www.gestoresresiduos.es/codigos_ler.html)
- 12) SAP. (2021). *SAP Business One*. Obtenido de SAP Business One : <https://www.sap.com/spain/products/business-one.html>
- 13) SITRA. (2021). *WIM by SITRA*. Obtenido de WIM by SITRA: <https://www.wimbysitra.com/>
- 14) Solvair. (2021). *Solvair Solutions*. Obtenido de Solvair Solutions: <https://www.solvairsolutions.com/es>
- 15) temperatura, A. d. (1 de Enero de 2021). *Vitcas*. Obtenido de Vitcas: <https://www.vitcas.es/aislamiento-de-alta-temperatura#:~:text=Las%20sustancias%20alternativas%20usadas%20para,comúnmente%20como%20aislamiento%20de%20apoyo>

- 16) Valeria Ibáñez-Forés, A. G.-P. (2011). *Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs)*. Castellón: UJI.
- 17) Viveros, E. B. (25 de Enero de 2007). DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA OPTIMIZACION DE UN HORNO DE CUBILOTE. Santiago de Cali, Cali, Colombia. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/7567/T05569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ÍNDICE

<b>0. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>II. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>18</b>
<b>III. EMISIONES Y GENERACIÓN DE RESIDUOS.....</b>	<b>43</b>
<b>IV. TÉCNICAS PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS y CONTROLADORES... </b>	<b>58</b>
<b>V. SISTEMA DE GESTIÓN DE RECURSOS .....</b>	<b>64</b>
<b>VI. PRL .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. PRESUPUESTO.....</b>	<b>73</b>
<b>VIII. SUBVENCIONES Y DEDUCCIONES FISCALES.....</b>	<b>74</b>
<b>A. ANEXO I.....</b>	<b>78</b>
<b>B. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de bloques del proceso para la obtención de azulejos cerámicos.....	7
Fig. 2 Línea de transporte. ....	8
Fig. 3 Distribución de la carga y densidades superficiales en el seno de las piezas en diferentes condiciones de prensado. ....	9
Fig. 4 Prensa hidráulica, cerámica.....	10
Fig. 5 Secadero vertical. ....	11
Fig. 6 Esmaltadora, forma de campana. ....	12
Fig. 7 Temperatura de los gases del horno, gas inyectado ( $T_g$ ) y temperatura de la superficie de la pieza ( $T_s$ ) (izq). Diferencia de temperaturas entre el centro y la superficie de la pieza (derecha). ....	14
Fig. 8 Conducción térmica en una pieza cerámica durante la cocción ( $T_1$ , cara superior y $T_2$ , cara inferior).....	14
Fig. 9 Coeficientes de convección y radiación, según la temperatura en un material cerámico.....	15
Fig. 10 Horno industrial cerámico.....	15
Fig. 11 Diseños realizados para eliminar las aristas y dotar a las piezas de una mayor resistencia ante los impactos. ....	16
Fig. 12 Diagrama de bloques. Layout de una línea de producción de baldosas cerámicas.....	17
Fig. 13 Diagrama consumo energético por sectores. ....	18
Fig. 14 Emplazamiento geográfico de la cubierta donde van a ser implantados los paneles solares. ....	20
Fig. 15 Células de silicio monocristalino. ....	21
Fig. 16 Disposición de las células fotovoltaicas en la cubierta de la planta. ....	22
Fig. 17 Inclinación de los paneles con respecto a la cubierta.....	23
Fig. 18 Análisis, mediante un software de lectura térmica, de aquellos puntos o secciones con mayor fuga térmica superficial. Rodillos y techo del horno. Realizado mediante software TechCalc 2.0. ....	28
Fig. 19 Curva de criterio de selección del espesor del aislante. ....	29

Fig. 20 Intercambiador de doble tubo.....	33
Fig. 21 Intercambiador de calor de doble tubo en equicorriente.....	33
Fig. 22 Intercambiador de calor de doble tubo en contracorriente.....	34
Fig. 23 Intercambiador de flujo cruzado de placas corrugadas. ....	34
Fig. 24 Intercambiador de carcasa y tubos. 1 paso por carcasa y 1 paso por tubos. ....	35
Fig. 25 Intercambiador de carcasa y tubos, con presencia de deflectores .....	35
Fig. 26 Intercambiador de placas.....	36
Fig. 27 Filtros de mangas con polvo, debido a su captación. ....	48
Fig. 28 Funcionamiento de un filtro de mangas catalíticas. ....	49
Fig. 29 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales. 54	
Fig. 30 Instalaciones del Grupo Pamesa para depurar aguas residuales procedentes de 14 fábricas del sector.....	55
Fig. 31 Esquema de funcionamiento de un control implantado en planta. ....	58
Fig. 32 Control PID que se va a utilizar para controlar la temperatura del horno. ....	58
Fig. 33 Regulador en lazo abierto. ....	59
Fig. 34 Lectura de 2 piezas prensadas en 2 alveolos distintos mediante rayos X. ....	60
Fig. 35 Diagrama de bloques funcionamiento sistema lean. ....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección de célula fotovoltaica según sus características. ....	21
Tabla 2. Dimensionamiento y características del intercambiador.....	38
Tabla 3. Propiedades físicas AISI Ti 316.....	39
Tabla 4. Valores estimados para el cálculo del calor intercambiado.....	41
Tabla 5. Codificación de los RP y RNP según la legislación española (1). ....	43
Tabla 6. Codificación de los RP y RNP según la legislación española (2). ....	44
Tabla 7. Clasificación de catalizadores en función de las condiciones de operación de los gases.....	48
Tabla 8. Análisis químico medio de aguas residuales sin depurar provenientes de empresas fabricantes de baldosas. ....	51
Tabla 9. Valores de salida, de diferentes parámetros químicos de la depuradora. .....	53
Tabla 10. Presupuesto total del proyecto. ....	73
Tabla 11. Coste total del proyecto e importe de las subvenciones recibidas. ....	77
Tabla 12. Índice de contracción y absorción, formulación tierra blanca 1.....	78
Tabla 13 Índice de contracción y absorción, formulación tierra coloreada 4.....	79
Tabla 14. Datos de los ventiladores de aire en el secadero en función del diámetro. ....	80
Tabla 15. Tablas de propiedades del aire a 1 atm. ....	81

## 0. OBJETIVOS

### **Objetivo principal del proyecto. Hitos a conseguir.**

El objetivo principal del presente proyecto es tratar algunos de los aspectos más importantes relativos a una planta industrial, proponiendo ciertos desarrollos, inversiones y mejoras que optimicen el comportamiento y rendimiento de la misma.

Los principales aspectos que se van a tratar serán:

- Eficiencia energética
- Industria 4.0 y automatización de procesos
- Tratamiento de residuos y emisiones

Todos estos desarrollos van a ser aplicados a una planta industrial cerámica. El sector cerámico se ha convertido en el sector elegido debido a su alto nivel de desarrollo tecnológico y alto peso en la industria española.

## I. INTRODUCCIÓN

### **Introducción a la cerámica. Historia y estado del arte.**

Históricamente, la cerámica va unida a casi todos los pueblos del mundo. Su invención se produjo durante el neolítico, cuando se hicieron necesarios recipientes para almacenar el excedente de las cosechas.

Como todo, la cerámica ha ido evolucionando progresivamente, pasando de ser un arte manual hasta llegar a nuestros días e industrializarse. No obstante, los diferentes tipos de cerámica siguen usándose con los mismos propósitos cotidianos; principalmente, como elementos arquitectónicos y decorativos.

El sector cerámico es uno de los más dinámicos e innovadores de España y, dentro del sector cerámico mundial, se posiciona como líder en cuanto a desarrollo tecnológico, diseño y calidad de servicio. Este sector es la tercera industria que mayor superávit aporta a la balanza española, con unas ventas totales que en 2018 casi alcanzaron los 3.600 millones de euros. De la facturación global, cerca del 80% corresponde a exportaciones, teniendo presencia en más de 190 países.

Una de las principales características del sector azulejero español es la alta concentración geográfica de la industria en la provincia de Castellón, donde se ubica el 80% de las industrias de este sector. En su conjunto, se estima que el sector cerámico español da empleo directo a unos 15.400 trabajadores, que en su mayoría son Pymes.

### **Proceso Productivo**

El proceso productivo de baldosas cerámicas consta de 6 etapas claramente diferenciadas.

- Preparación de la materia prima. Atomizado.
- Prensado.
- Secado.
- Esmaltado.
- Cocción.
- Corte y mecanizado.

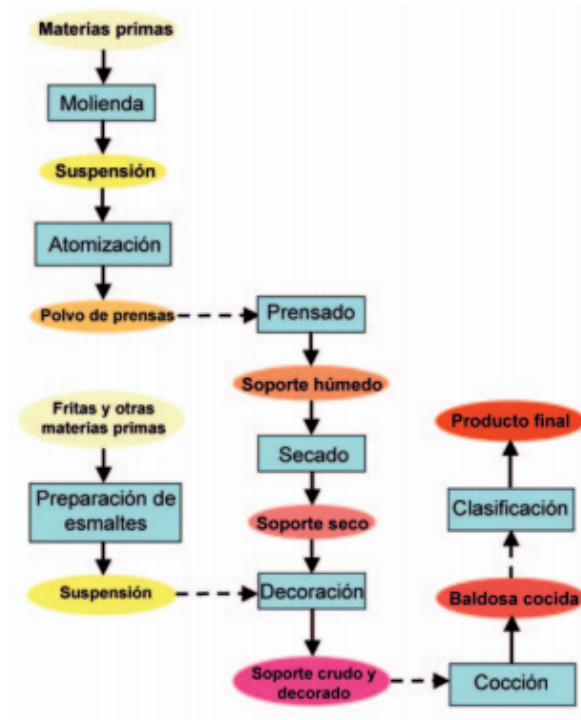


Fig. 1. Diagrama de bloques del proceso para la obtención de azulejos cerámicos.

### Preparación de la materia prima. Atomizado

La materia prima utilizada para este proceso productivo serán tierras atomizadas. Estas tierras están compuestas fundamentalmente por minerales naturales provenientes de la arcilla y los silicatos. El color de estas tierras no es único y se puede elegir entre una amplia gama.

Estas tierras, además, serán humedecidas entre un 2% y un 8% para facilitar su conformado mediante prensado o extrusión.

En el Anexo I (Tabla 12 y Tabla 13) se muestran dos fichas técnicas de diferentes tierras donde se pueden observar sus propiedades.

### Línea de transporte

La línea de transporte está compuesta por una combinación de cintas y rodillos, dependiendo de la etapa del proceso. Su función principal es la de transportar las piezas a lo largo de todas las fases del proceso.

Las cintas se desplazan sobre ruedas motrices, ajustando las piezas en su seno y siendo suficientemente rugosas para que no exista deslizamiento cinta-pieza y, que, de esta manera, no se produzcan acumulaciones de material en la línea.

Los rodillos están principalmente ubicados en las entradas y salidas de los hornos y secadores, así como en su interior, estos están rodeados de material aislante para que sean capaces de soportar las altas temperaturas existentes en estos puntos y no se fundan.



*Fig. 2 Línea de transporte.*

### Prensado

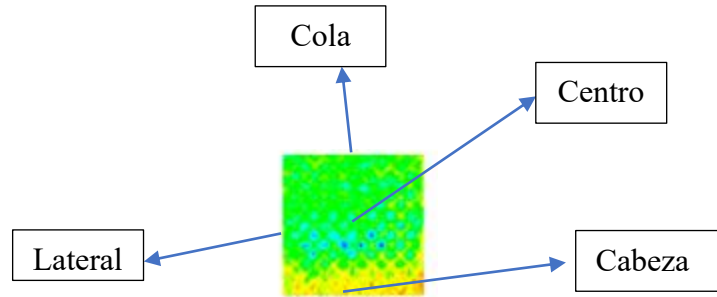
La materia prima es transportada hasta unos tamices, los cuales mantienen dicha mezcla en constante vibración para evitar la formación de posibles grumos o burbujas de aire que posteriormente puedan generar porosidades, malformaciones o puntos críticos de acumulación de tensiones, los cuales puedan quebrar el material cuando este sea sometido a algún esfuerzo.

Una vez la tierra es descargada en la prensa hidráulica, sobre esta se aplica una gran presión (5.000kg-40.000kg) compactando el material. Los alveolos de la prensa, en los cuales está contenido el molde, comprimen la mezcla hasta confeccionar las piezas, consiguiendo el espesor, densidad, compactación y distribución de carga deseada.

Actualmente, el espesor de las piezas cerámicas está tendiendo a disminuirse a valores mínimos, de hasta 2mm. No obstante, esto encarna algunos riesgos intrínsecos, como la fragilidad que estas presentan debido a la disminución del espesor.

Por otra parte, la distribución de carga de la prensa es un factor de máxima influencia en el desarrollo del producto. De esta depende la densidad aparente y el espesor de las piezas, dos factores fundamentales en el proceso.

Una mala distribución de carga puede generar acumulaciones de tensiones y romper el material. Además, se puede originar una diferencia de espesores que puede ser apreciables a simple vista dando lugar a productos irregulares. Es por eso por lo que es necesario ajustar debidamente la presión aplicada por los alveolos y generar una pieza en crudo lo más homogénea posible.



La distribución de carga de las piezas en crudo después del proceso de prensado se puede determinar según su espectro de acumulación de materia. Después de un estudio realizado con ultrasonidos se han determinado 4 diferentes tipos de distribución de carga: normal u homogénea, delantera, trasera y heterogénea.

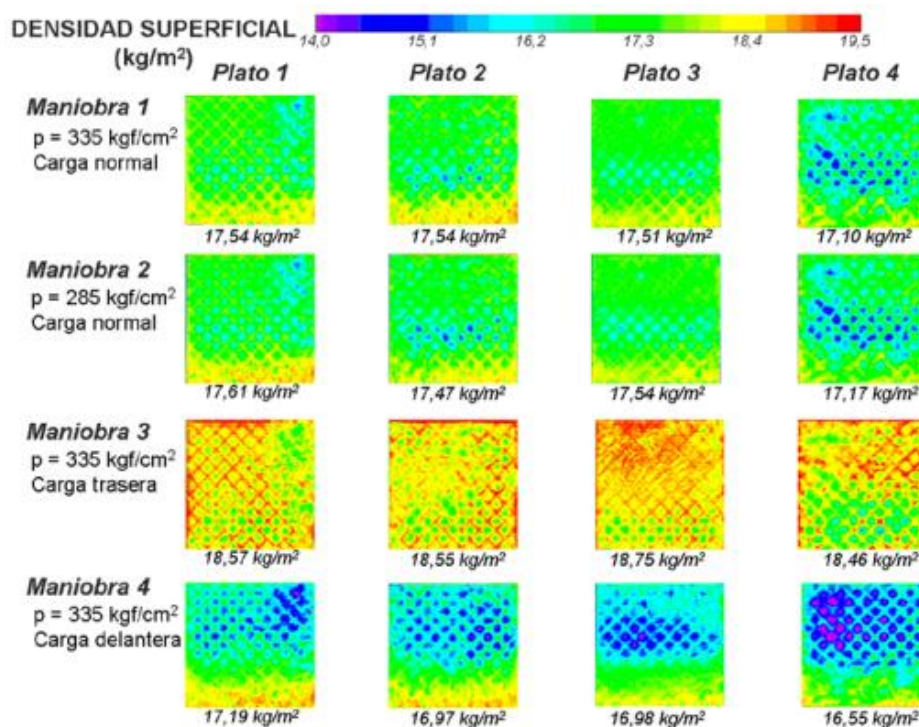


Fig. 3 Distribución de la carga y densidades superficiales en el seno de las piezas en diferentes condiciones de prensado.

La Maniobra 1 y Maniobra 2 corresponden con una carga normal homogénea, la Maniobra 3 se identifica con una carga trasera, y, por último, la Maniobra 4 corresponde con una carga delantera.

Como es lógico, se busca una distribución de carga homogénea en las piezas, de tal manera, que la densidad aparente y espesor sea igual en todo su volumen y no existan puntos críticos los cuales puedan producir grietas por falta de compactación.

En cambio, una mala distribución de carga puede provocar la aparición de tensiones internas en el material, las cuales pueden manifestarse en cualquier momento del proceso productivo. No obstante, estas suelen manifestarse durante el enfriamiento de las piezas en la cocción y cuando estas son sometidas a un esfuerzo externo, como puede ser el corte o mecanizado de las mismas. Incluso, puede llegar a romper la pieza por la aparición de grietas principalmente en la cabeza y la cola de las piezas.



Fig. 4 Prensa hidráulica, cerámica.

### Secado

Una vez la tierra ha sido compactada, la pieza, ahora denominada *material en crudo*, es transportada a través de la línea de transporte hasta el secadero vertical, donde las piezas procederán a secarse durante un tiempo comprendido entre los 50 y 60 minutos. Estas serán sometidas a una temperatura de entre 90°C y 140°C, dependiendo de la capacidad de calentamiento del activo.

A lo largo de este proceso, el material perderá toda su humedad. De esta manera, la pieza sufrirá una contracción, dependiendo de las propiedades de la materia prima utilizada, situada entre el 6% y 9%. Por tanto, las medidas han de estar sobreestimadas siempre teniendo en cuenta este índice de contracción.

Un secadero convencional consta de varias alturas, donde las piezas entran y salen por la parte inferior, y en el que las piezas sufren un gradiente de temperaturas variable según su posición.



*Fig. 5 Secadero vertical.*

### Esmaltado

El esmalte es un compuesto en suspensión formado de materiales fundentes y cuarzo que se aplica sobre una pieza cerámica antes de ser cocida. Al enfriarse, el compuesto formará una capa semi-vítrea, parecida a la de un cristal, sobre la superficie de la cerámica. El esmalte convertirá la superficie porosa de la arcilla en una impermeable y dotará a esta de unas mejores propiedades mecánicas y químicas. Además, tiene un fundamento decorativo.

Existen dos tipologías de esmalte claramente diferenciadas según la temperatura de cocción; los esmaltes de baja temperatura, los cuales se aplican cuando la temperatura de cocción se encuentre entre los 800°C y los 1150°C, no pudiendo superar esta última, y los esmaltes de alta temperatura, cuando la temperatura de cocción sea inferior a 1300°C, no pudiendo superarla o dichos esmaltes pueden llegar a fundirse, perdiendo la forma y produciendo defectos e irregularidades en las piezas.

Los esmaltes utilizados en la industria cerámica son principalmente los de alta temperatura, cuyos fundentes principales son.

- Sodio

- Potasio
- Magnesio
- Zinc
- Bario
- Litio

El proceso de esmaltado es principalmente realizado, en el ámbito industrial, mediante inmersión de la pieza en el esmalte. Esto asegura un esmaltado total y equitativo en toda la superficie de la pieza.



*Fig. 6 Esmaltadora, forma de campana.*

Además, el esmalte se encuentra constantemente tamizado para evitar la formación de grumos y burbujas de aire que puedan producir defectos en el producto final.

El esmaltado es una etapa fundamental en el proceso para conseguir un acabado propicio de las piezas y mejorar las propiedades químicas y mecánicas de estas.

### Cocción

La cocción es un punto fundamental en el proceso productivo, ya que esta etapa es la encargada de conferir a las piezas sus principales propiedades mecánicas; aumentando su dureza y resistencia a flexión y a tracción.

La cocción es un proceso el cual consiste en un aumento de la temperatura de las piezas, a través de su paso por un horno de línea de grandes dimensiones, llevando

al material hasta los 1200°C para posteriormente enfriarlo de manera paulatina. El proceso de cocción consta de 3 fases diferenciadas:

1. Una fase de precalentamiento larga, que constituye alrededor 25% del total del proceso a una temperatura elevada de entre 650°C y 750°C, dependiendo de la tierra cocida. Este proceso será alargado en función de la presencia o no de granilla.
2. Una fase de cocción a máxima temperatura más corta de lo habitual, que constituirá un 25% del total de proceso, alcanzándose aquí las temperaturas máximas presentes en el proceso y con los quemadores a máximo rendimiento. Las temperaturas aquí variaran entre los 1185°C y los 1210°C, dependiendo de la tierra tratada.
3. Por último, un enfriamiento paulatino que ocupará el 50% restante del proceso, en el que la temperatura es disminuida de manera casi inapreciable para evitar la formación de tensiones, poseyendo una pendiente casi nula entre los 1000°C y los 700°C, punto crítico de generación de tensiones en el interior de las piezas.

Sin embargo, la cocción es considerado un punto crítico en el proceso, ya que su mala ejecución puede generar problemáticas y defectos en las piezas que pueden ser irreversibles. Entre las principales problemáticas que se pueden dar durante el presente proceso, se encuentran:

- La generación de **curvaturas** en las piezas debidas al efecto de la dilatación de producida durante la etapa de calentamiento. Es por eso por lo que es necesario realizar un precalentamiento de las mismas, sin aumentos bruscos de temperatura.
- La **formación de tensiones internas** durante el enfriamiento de las piezas en el intervalo de los 1000°C a los 700°C, además de los puntos en los que se produce un cambio de fase ( $\alpha \rightarrow \beta$ ).

Estas tensiones internas generadas en el material pueden llegar a quebrarlo debido a su acumulación durante el enfriamiento. Por otra parte, pueden ser manifestadas a posteriori cuando el material sea sometido a cualquier esfuerzo externo (corte, mecanizado o, incluso, algún impacto) llegando, también, a romper las piezas.

El horno en el que se produce la cocción es alimentado por gas natural, el cual, es introducido a través de unos inyectores, produciéndose así una combustión y permitiendo fijar la temperatura de los quemadores.

No obstante, existe un desfase significativo entre la temperatura fijada en los quemadores y la temperatura real de la pieza, que siempre irá con retraso. Cuanto mayor sea el espesor de las piezas existirá una mayor diferencia de temperatura entre ambas superficies, pudiéndose llegar a producir una diferencia de hasta 250°C durante el enfriamiento y de hasta 100°C durante el calentamiento. Esta diferencia de temperatura que se produce dentro del propio material también es uno de los principales causantes de la aparición de tensiones.

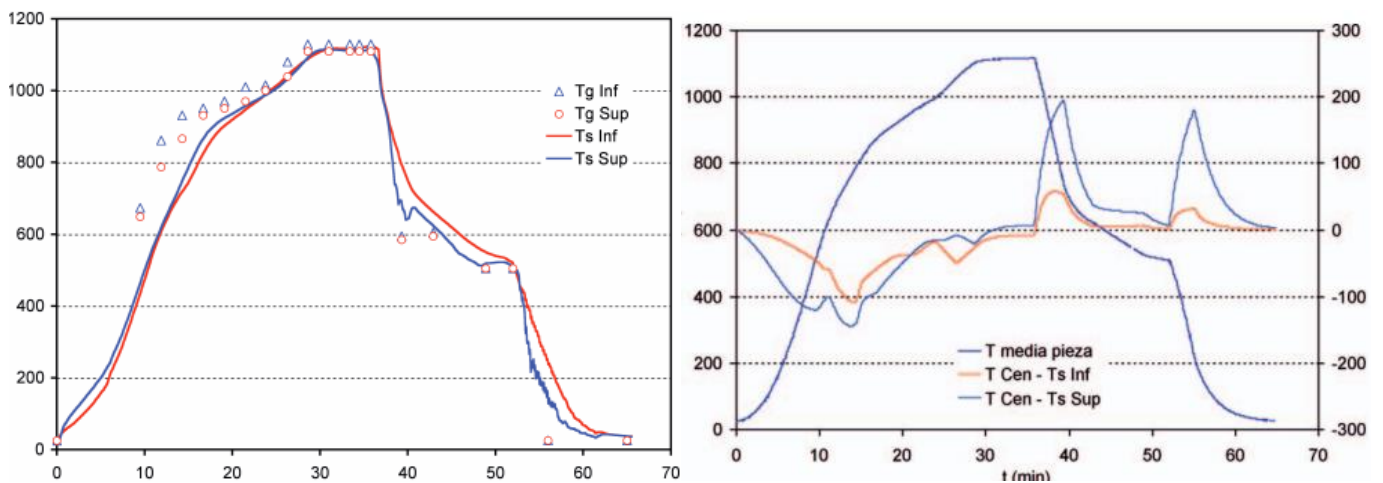


Fig. 7 Temperatura de los gases del horno, gas inyectado ( $T_g$ ) y temperatura de la superficie de la pieza ( $T_s$ ) (izq). Diferencia de temperaturas entre el centro y la superficie de la pieza (derecha).

El calor se transmite a las caras superiores de la pieza por convección y radiación, mientras el calor en el interior de la pieza se transmite por conducción.

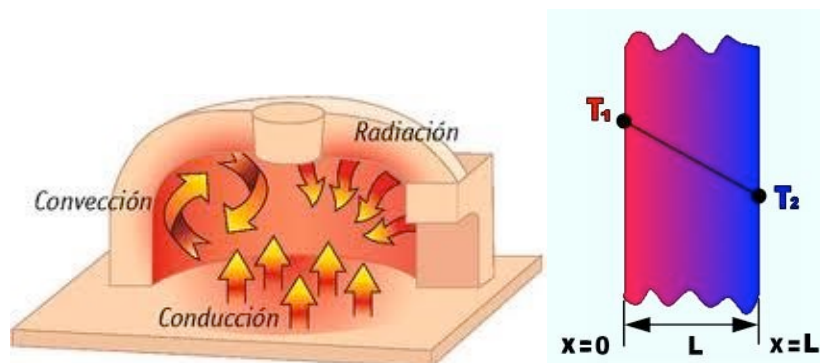


Fig. 8 Conducción térmica en una pieza cerámica durante la cocción ( $T_1$ , cara superior y  $T_2$ , cara inferior).

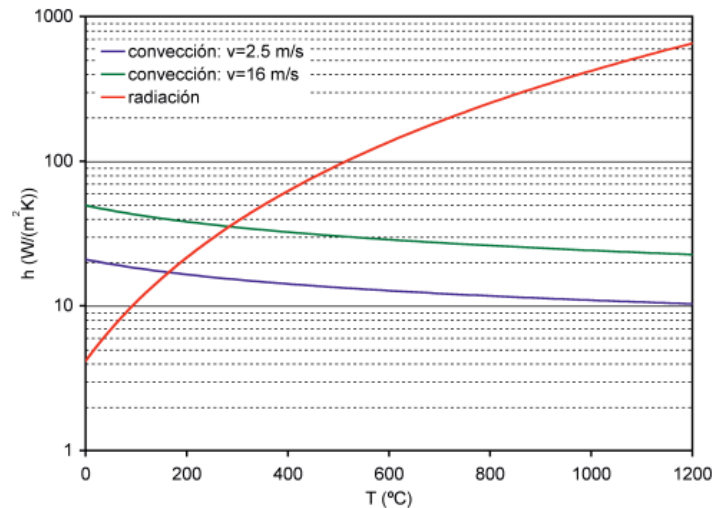


Fig. 9 Coeficientes de convección y radiación, según la temperatura en un material cerámico.

Teniendo en cuenta todas las problemáticas presentes durante este proceso, es fundamental confeccionar una curva de temperaturas que permita controlar a la perfección todas y cada una de las posibles variables existentes, con el objetivo de evitar la aparición de defectos como: tensiones internas, grietas o mermas.

Un horno industrial cerámico consume una media anual entre 30GWh y 32,5GWh de potencia.



Fig. 10 Horno industrial cerámico.

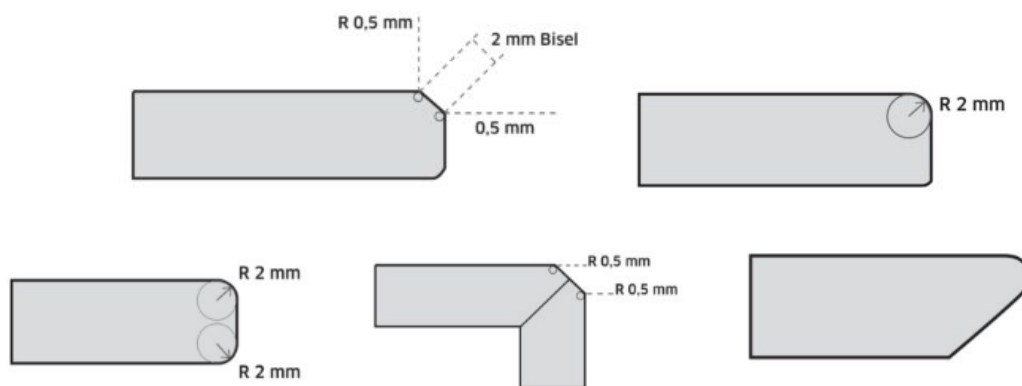
### Corte y mecanizado

El corte y mecanizado constituye a una etapa de postratamiento de las piezas, donde al término del proceso principal, se va a realizar un corte y mecanizado de los bordes y superficie adecuado a las necesidades de cada uno de los formatos. Las piezas, las

cuales pueden contener rebabas provenientes del proceso de prensado, o alguna imperfección en su superficie, son cortadas, pulidas y rectificadas.

Cuando las piezas vayan a ser pulidas, previamente se habrá de aplicar granilla sobre las piezas para no dañar la pintura ni el esmalte y que estas no pierdan sus propiedades.

Los diseños de los cantos son un punto fundamental en el acabado de las piezas, fundamentalmente si dichas piezas están destinadas a ser instaladas en situaciones con un alto riesgo de impacto, como, por ejemplo: encimeras de cocina, bancos, estantes, etc. Los cantos de estas piezas han de ser tratados para que cuando se produzca un impacto sobre estos no exista una acumulación de fuerzas en la arista y estas quiebren el material. Es por eso por lo que para eliminar la presencia de aristas se han realizado los diferentes diseños prototipo:

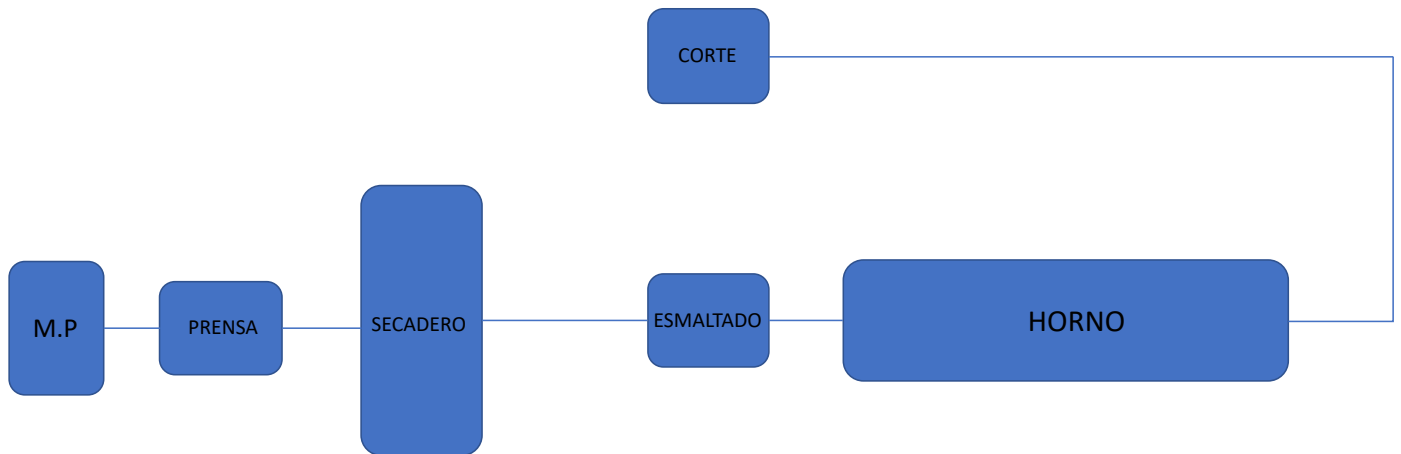


*Fig. 11 Diseños realizados para eliminar las aristas y dotar a las piezas de una mayor resistencia ante los impactos.*

Las piezas pueden ser también pulidas, previa aplicación de granilla para no dañar la pintura ni el esmalte.

### Layout

A continuación, se inserta un boceto del layout de la planta sobre el cual se van a matizar algunas de sus condiciones de operación habituales:



*Fig. 12 Diagrama de bloques. Layout de una línea de producción de baldosas cerámicas.*

Con todo esto, se pretende tratar algunos de los aspectos más importantes relativos a una planta industrial cerámica con el objetivo de mejorar su eficiencia energética, nivel de automatización, rendimiento y tratamiento de residuos y emisiones, mediante la propuesta de los siguientes desarrollos e inversiones.

## II. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), el sector industrial es el responsable del 31% del consumo energético de nuestro país. Este consumo puede ser reducido modificando algunos de los hábitos de funcionamiento de la maquinaria.

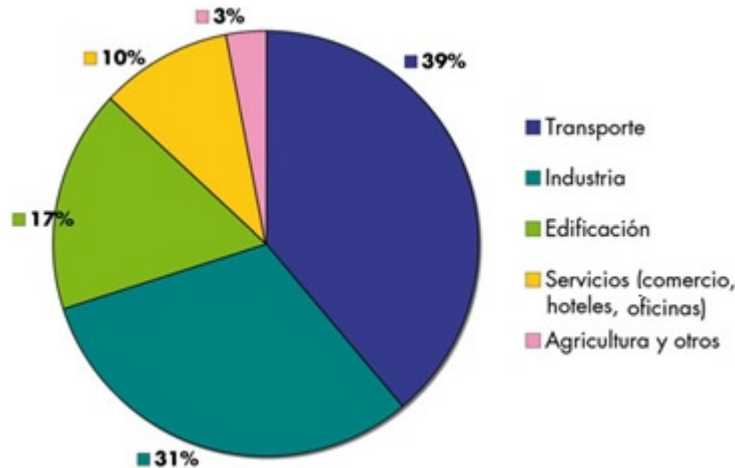


Fig. 13 Diagrama consumo energético por sectores.

El aprovechamiento de la energía y energía residual es un aspecto muy a tener en cuenta en la actualidad, este puede contribuir hacia una mejora del impacto que la industria tiene sobre el medio ambiente.

Adicionalmente, una mejor gestión de la energía utilizada en la planta llevará implícito una mejoría del rendimiento de los equipos, los cuales trabajarán en unas mejores condiciones, emitiendo una menor cantidad de gases y contaminantes y, alargando su vida útil.

Es por eso por lo que, se ha decidido realizar ciertas actuaciones con el objetivo de minimizar el gasto energético existente y, con ello, un mejor aprovechamiento de la energía utilizada. Para ello se van a realizar 3 acciones diferentes: un intercambiador de calor (horno – secadero), una instalación de paneles solares y la aplicación de un recubrimiento aislante térmico en diversos puntos específicos.

## Generadores fotovoltaicos

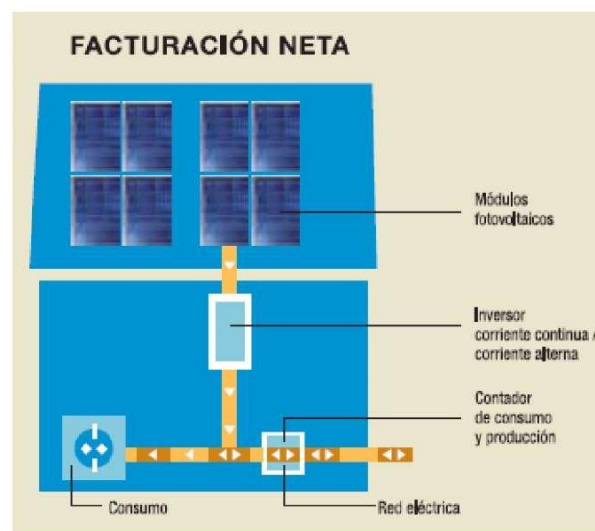
Los generadores fotovoltaicos son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica. Constituidos por paneles solares y estos a su vez formados por varias células iguales conectadas eléctricamente entre sí.

Principalmente, se puede diferenciar entre dos tipos de placas solares:

- Placas de silicio policristalino: están compuestas por células cuyo silicio no procede de un único cristal, sino de muchos pequeños fundidos en grupo.
- Placas de silicio monocristalino: compuestas por células cuyo silicio procede de un único cristal.

Estos paneles son los encargados de captar la energía solar en forma de radiación y transformarla en energía eléctrica. En función de la cantidad de energía generada y consumida, ésta puede estar destinada a satisfacer diversas necesidades:

- **Autoconsumo.** Cuando la generación de energía fotovoltaica es menor o igual a la energía consumida en la planta.
- **Suministro a la red.** Cuando la energía generada es mayor que la energía consumida en la planta, entregando la sobrante a la red (venta).



*Cálculo de la energía producida.*

Primeramente, se va a definir el emplazamiento geográfico donde los paneles van a ser implantados. Como se está tratando es una industria cerámica, esta va a ser localizada en Onda, Castellón, punto de máxima presencia de las empresas del sector y seleccionándose el siguiente punto:

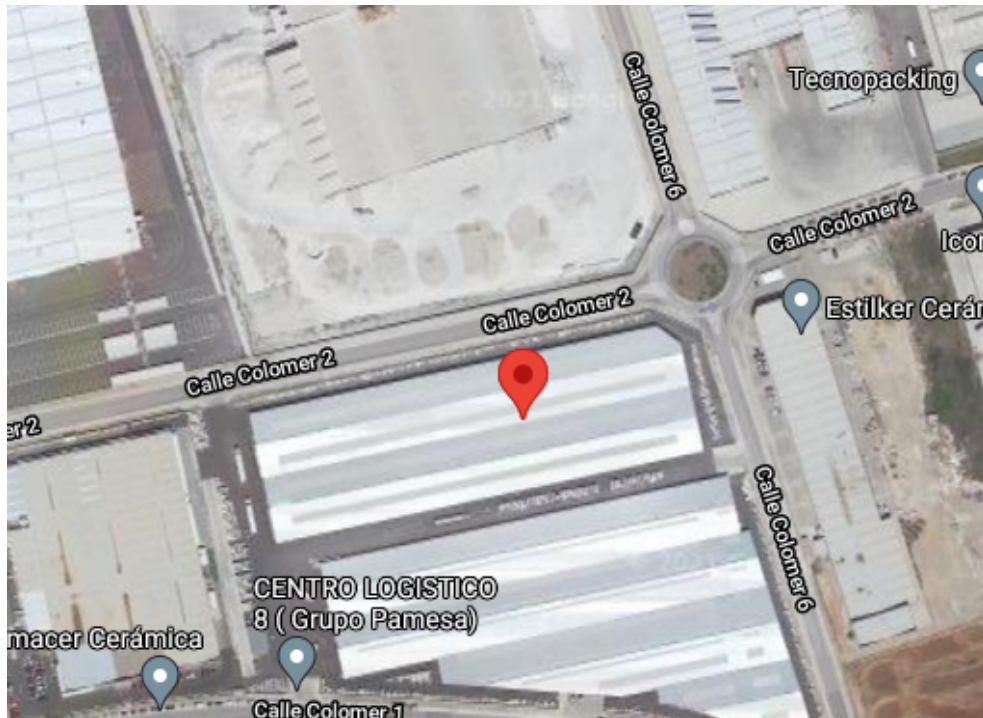


Fig. 14 Emplazamiento geográfico de la cubierta donde van a ser implantados los paneles solares.

Cuya ubicación geográfica corresponde con las siguientes coordenadas: 39°58'01.3"N 0°13'38.2"W.

La instalación fotovoltaica se va a realizar en la cubierta de la planta. De esta manera, se optimizará el espacio disponible y se obtendrá la misma eficiencia que si estos estuvieran instalados al nivel del suelo.

Es por eso por lo que se basándose en el tamaño medio de una planta de producción cerámica se ha estimado una cubierta de 400m de largo y 70 m de ancho. Por lo tanto, su área superficial será de aproximadamente 28.000 m<sup>2</sup>.

La orientación de la planta es otro factor diferencial en cuanto a la instalación de dichos paneles, ya que la inclinación y acimut de estos variará en función de la misma.

El tipo de paneles que se van a instalar son **células de silicio monocristalino**. Estos paneles al provenir de un único cristal de silicio, teniendo así gran pureza, son de máxima eficiencia y rendimiento. El aumento rendimiento por metro cuadrado de las monocristalinas frente a las policristalinas es de entre un 25% y 30% por lo que las convierten en células de alta eficiencia.



Fig. 15 Células de silicio monocristalino.

Existen dos modelos principales dependiendo su geometría (número de celdas y dimensiones) y su potencia generada pico (Wp), los cuales se muestran a continuación.

Tabla 1. Selección de célula fotovoltaica según sus características.

	Modelo 1	<b>Modelo 2</b>
Número de celdas	60	<b>72</b>
Dimensiones	1,65m <sup>2</sup>	<b>2m<sup>2</sup></b>
Potencia pico (Wp)	330W	<b>410W</b>

Una vez ya se conoce el emplazamiento geográfico y el tipo de célula que se va a utilizar, Modelo 2 de silicio monocristalino, se va a comenzar a dimensionar y calcular la energía producida y el ahorro económico que esta conlleva.

- **Cálculo**

Para realizar el cálculo y estimación de la energía fotovoltaica generada por las células que se van a implantar se va a utilizar el software Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), desarrollado por el Instituto de Energía de la Unión Europa.

Para el cálculo de la energía generada se han realizado las siguientes hipótesis:

- 1) No será utilizada toda la superficie de la planta. Tan solo será utilizada la zona de la cubierta orientada al sur. En las siguientes figuras, se muestra tanto la

estructura de la cubierta como un boceto de la disposición de los paneles sobre la misma.

Adicionalmente, se ha establecido un coeficiente ( $C_{sym}$ ) que pretende mostrar la superficie útil de acción de los paneles, ya que existirá una separación entre estos para evitar la generación de sombras y posibilitar su mantenimiento.

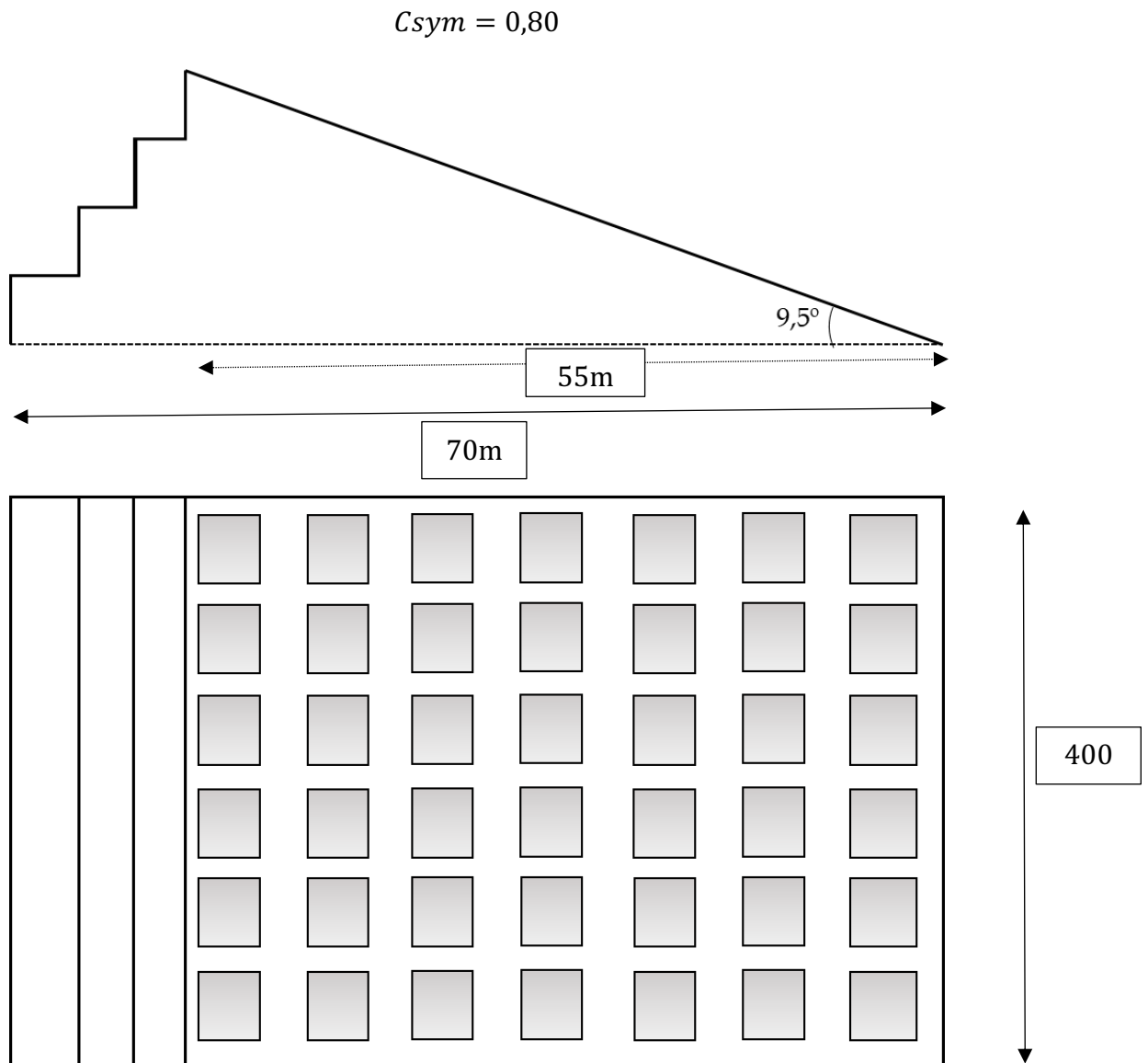


Fig. 16 Disposición de las células fotovoltaicas en la cubierta de la planta.

### Cálculo del área de instalación

Solo se implantarán los paneles solares en la superficie lisa y orientada en dirección sur. La otra parte de la cubierta poseerá una estructura escalonada para favorecer la entrada de luz del exterior.

**Superficie de instalación:**

$$S_{inst} = \left( \frac{55}{\cos(9,5^\circ)} \right) * 400$$

$$S_{inst} = 22305,91 \text{ m}^2$$

Utilizando el coeficiente de separación y mantenimiento, el área final de actuación de los paneles resulta:

$$A_{corregida} = S_{inst} * 0,80$$

$$A_{corregida} = 17844,73 \text{ m}^2$$

2) La inclinación de la cubierta va a ser considerada de 9,5 °.

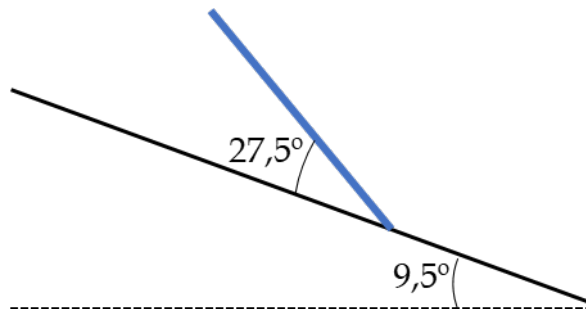


Fig. 17 Inclinación de los paneles con respecto a la cubierta.

3) Se supondrán unas pérdidas en el sistema del 14%.

Por la tanto, con las hipótesis realizadas podemos calcular la potencia de pico del kit que, posteriormente, generará la energía solar fotovoltaica.

**Número de paneles:**

$$\frac{A_{corregida}}{A_{panel}} = n^\circ \text{ paneles}$$

$$\frac{17844,73}{2} = 8922 \text{ paneles}$$

**Potencia de pico del Kit:**

$$W_{p2} * n^\circ \text{ paneles} = W_{pkit}$$

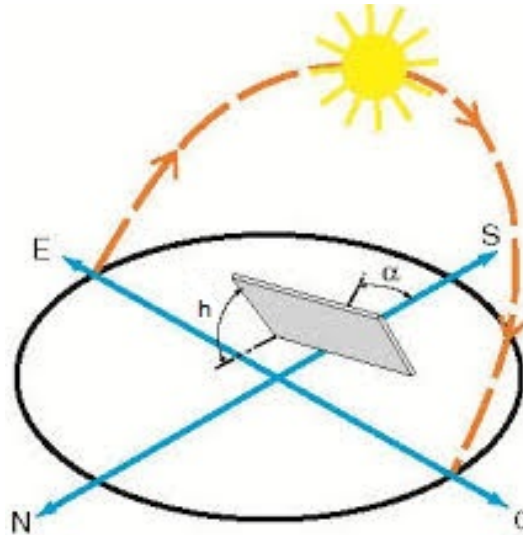
$$410W_p * 8922 = 3658,17 \text{ KW}_p$$

Una vez obtenidos estos valores, se introducen en el simulador y se obtienen los siguientes resultados:

- Orientación, inclinación y características de los paneles:

El ángulo óptimo de inclinación de los paneles será de 37° con respecto al suelo. Al tener la cubierta una inclinación de 9,5 °, los paneles poseerán una inclinación de 27,5 ° con respecto a la superficie de la misma.

Por otra parte, el ángulo de azimut de los paneles (ángulo que forma la disposición del panel y el sur, *azimut del sur* = 0°) es de -2 °.

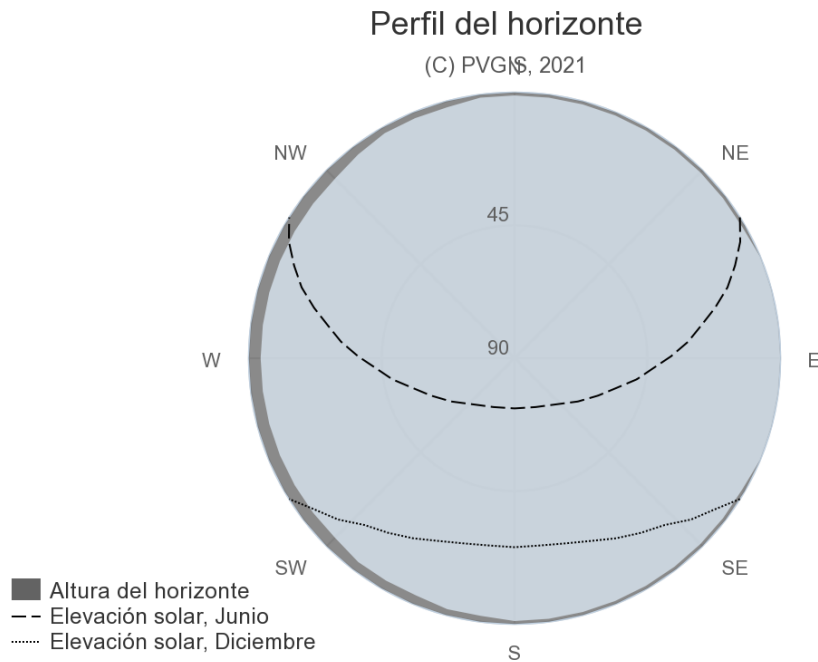


Por lo tanto, respecto a la superficie de la cubierta:

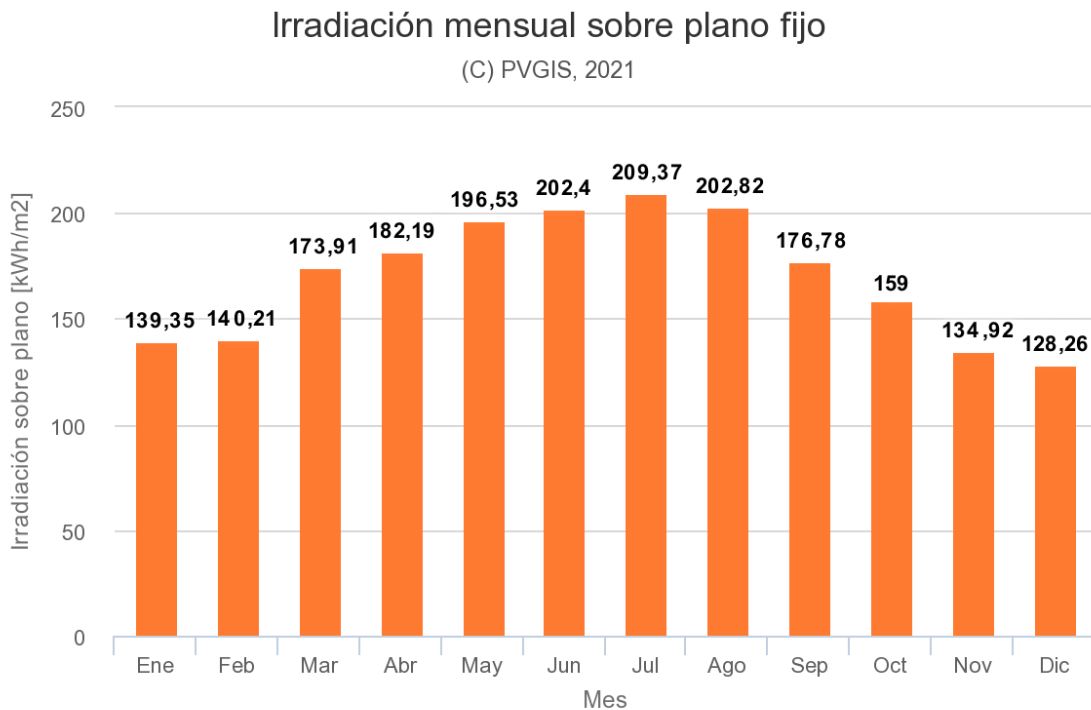
$\alpha = -2^\circ$
$h = 27,5^\circ$

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación:	
Localización [Lat/Lon]:	39.967, -0.227	Ángulo de inclinación [°]:	37 (opt)
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut [°]:	-2 (opt)
Base de datos:	PVGIS-SARAH	Producción anual FV [kWh]:	5851621.91
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Irradiación anual [kWh/m²]:	2045.74
FV instalada [kWp]:	3658.17	Variación interanual [kWh]:	126464.01
Pérdidas sistema [%]:	14	Cambios en la producción debido a:	
		Ángulo de incidencia [%]:	-2.56
		Efectos espectrales [%]:	0.69
		Temperatura y baja irradiancia [%]:	-7.32
		Pérdidas totales [%]:	-21.81

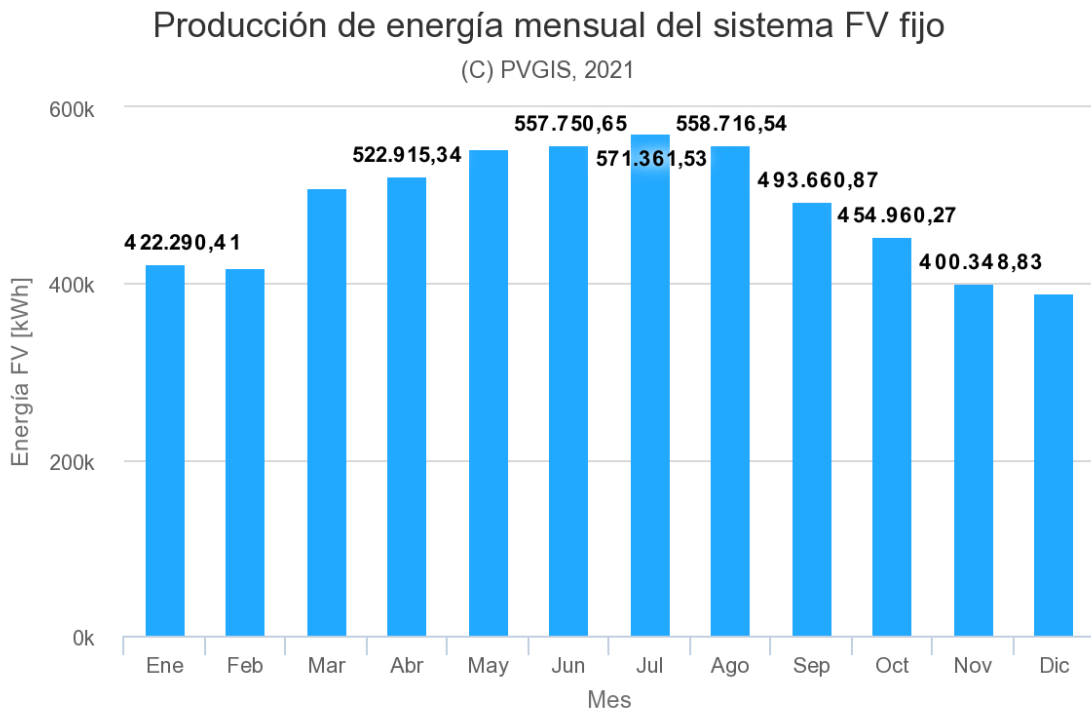
➤ Perfil del horizonte



➤ Irradiación mensual sobre un plano fijo



➤ Producción de energía mensual del sistema fotovoltaico fijo



La energía media anual producida sería de 5.851.621 kWh (año 0). No obstante, el rendimiento del kit fotovoltaico se reduce 0,4% anual, resultando:

	<b>Energía producida</b>
Año 0	5.851.621 kWh
Año 1	5.828.214 kWh
Año 2	5.804.901kWh
Año 3	5.781.682 kWh
Año 4	5.758.555 kWh
Año 5	5.735.521 kWh
Año 6	5.712.579 kWh
Año 7	5.689.728 kWh
Año 8	5.666.969 kWh
Año 9	5.644.301 kWh
Año 10	5.621.724 kWh

Por lo tanto, la energía media anual producida a lo largo de los 10 primeros años de inversión es de **5.735.982 kWh/año**.

Actualmente, el precio medio diario del kWh en España se sitúa en los 0,1182€/kWh. Por lo tanto, y si toda la energía producida fuera destinada al autoconsumo, la empresa se ahorraría una cantidad media aproximada de **677.993,80 €/año**, durante los primeros 10 años.

El precio medio aproximado de un panel de silicio monocristalino es de 450€. Por lo tanto, si se deciden instalar **8922 paneles**, la inversión ascendería hasta los 4.014.900€. Por otra parte, se van a suponer 500.000€ correspondientes a su instalación y mantenimiento, resultando finalmente **4.514.900€**.

En este contexto el **retorno** (payback) de la inversión sería de **6,66 años**.

En cualquier momento en el cual la generación supere al consumo se comenzará a suministrar energía a la red no desperdiciando así la energía sobrante.

También, esta alta producción de energía eléctrica deja las puertas abiertas al futuro, donde todos los hornos pasarán a ser eléctricos dejando de lado los combustibles fósiles. Estas altas potencias generadas permitirán soportar su total funcionamiento o al menos gran parte.

## Aislamiento térmico

Por otra parte, existen más métodos aplicables para conseguir una eficiencia energética máxima en la planta. Como, por ejemplo, la aplicación de aislantes térmicos.

Un correcto posicionamiento de material aislante es fundamental para evitar fugas térmicas en todos aquellos aparatos que trabajen a altas temperaturas. Aplicado al caso estudiado, tendría presencia en el horno y, también, en los secaderos, pero al ser menores sus temperaturas de trabajo habría que estudiar su rentabilidad económica.

Para realizar dicho procedimiento de manera efectiva se puede utilizar un software de lectura de temperaturas superficiales, como TechCalc 2.0 un software de cálculo térmico según ISO 12241, para determinar los puntos de máxima fuga térmica de cada uno de los equipos que merezcan análisis. Este procedimiento, también se puede realizar externamente, a través de una auditoría energética, de tal manera que, ésta establezca dichos puntos críticos de fuga.

El material aislante, en el caso tratado, será aplicado como revestimiento de algunas partes del horno, como: la intersección entre la parte superior e inferior del mismo, donde se encuentran los rodillos encargados de transportar el material y, también, en el techo del horno, superficie la cual, según los análisis, es considerada de una alta fuga térmica, como se puede observar en el estudio presentado a continuación:

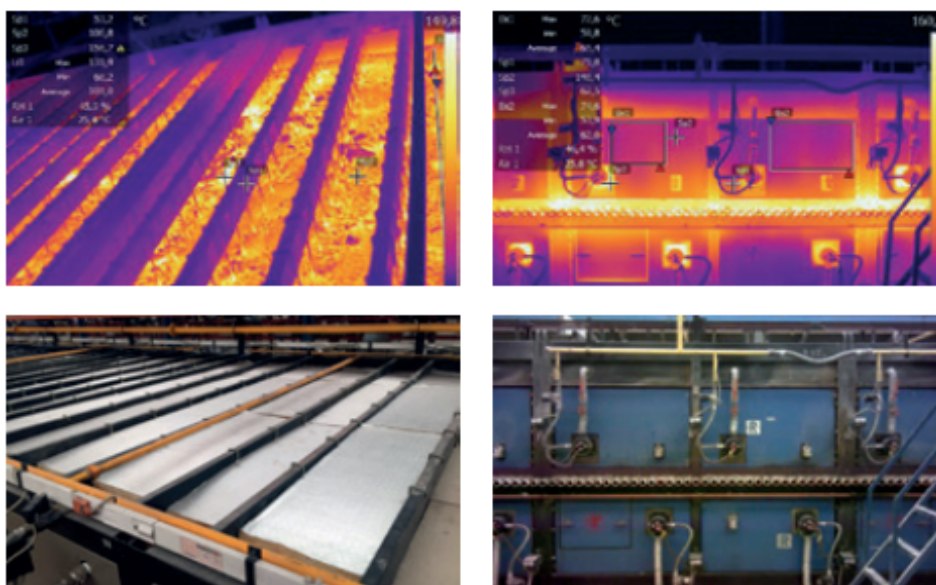


Fig. 18 Análisis, mediante un software de lectura térmica, de aquellos puntos o secciones con mayor fuga térmica superficial. Rodillos y techo del horno. Realizado mediante software TechCalc 2.0.

Las sustancias usadas principalmente para aislamientos de alta temperatura, como el que se está tratando, son el silicato de calcio y la fibra de cerámica. El silicato de calcio no contiene fibras y está disponible en placas fáciles de trabajar y se usa más comúnmente como aislamiento de apoyo. En cambio, la fibra cerámica tiene propiedades de alta resistencia al choque térmico, baja conductividad térmica y bajo almacenamiento de calor, lo cual la convierte en un aislante excelente.

Entre las características más importantes de los productos de aislamiento destacan:

- Baja conductividad térmica
- Emisividad de la superficie
- Puente térmico
- Capacidad de calentar
- Grosor de aislamiento

Este revestimiento ayudará a conseguir un mayor ahorro, tanto energético como económico, ya que la cantidad de gas y energía inyectada será menor para conseguir la misma temperatura de operación, gracias a la presencia del material aislante. Y, por otra parte, se pueden llegar a alcanzar temperaturas superiores si se desea, gracias a la reducción de las pérdidas térmicas.

El criterio de selección del grosor del aislante económico-energético estará determinado según la siguiente curva:

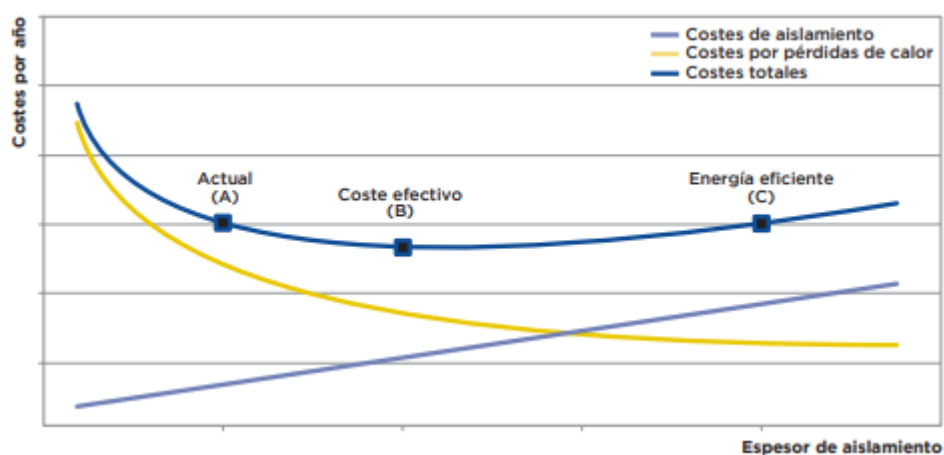


Fig. 19 Curva de criterio de selección del espesor del aislante.

En las curvas presentadas anteriormente se puede observar cómo los costes por pérdidas de calor (curva amarilla) poseen una asíntota. Esta, indica que siempre

existirán puntos no considerados en los que existan fugas térmicas o a los que el aislante no pueda acceder de manera efectiva. Es por eso por lo que el espesor será determinado cuando sea alcanzado el coste efectivo [B] (punto variable según la maquinaria tratada), punto de derivada cero que indica donde el coste total, coste de mantenimiento + coste de pérdidas, es el mínimo u óptimo.

A continuación, se muestra un estudio económico de los ahorros generados tan solo con el aislamiento del techo del horno:

<b>Ahorro conseguido</b> mejorando el aislamiento existente del techo del horno	
Inversión	9.650 €
Retorno (Payback)	2,1 meses
Ahorros económicos	59.963 €/año
Ahorros energéticos	1.602 MWh/año
Reducción CO <sub>2</sub>	43.171 Tn/año

Adicionalmente, esto conseguirá un mejor comportamiento y rendimiento del recuperador de calor, obteniéndose una mayor temperatura y constante en el interior del horno utilizando la misma cantidad de energía que se utilizaba previamente.

## Intercambiadores de calor

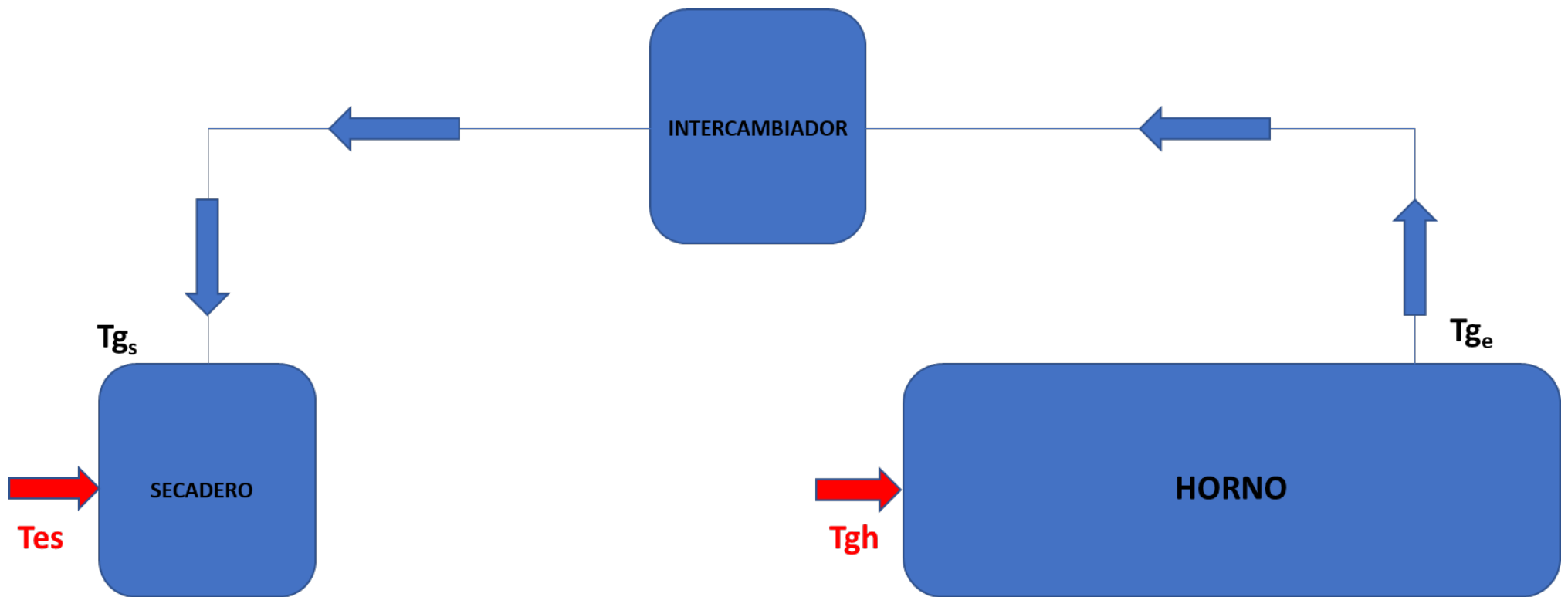
Un intercambiador de calor es un dispositivo especialmente diseñado para facilitar la transferencia de calor de una corriente de fluido a otra. La transferencia de calor se produce a través de una placa metálica o tubo que favorezca dicha transferencia sin que estos fluidos se mezclen.

En este el caso, el intercambiador va a ser el encargado de recoger el calor residual del horno para su posterior aprovechamiento en el secadero. Por otro lado, también, este va a contribuir a disminuir la temperatura de emisión de fluidos, de manera que se reduzca la contaminación térmica de la planta.

El calor residual en los efluentes de los procesos industriales supone una importante pérdida de energía térmica en la industria. Mediante este dispositivo se pretende aumentar significativamente la eficiencia energética de los equipos y la planta, conjuntamente. Cuanto mayor sea el calor residual emitido por la fuente, mayor será la capacidad de aprovechamiento del mismo.

En el caso que se está tratando, se va a recuperar el calor residual del horno para su aprovechamiento en el secadero. Las condiciones de ambos puntos de operación están marcadas y se presentan en el diagrama expuesto a continuación, siendo:

- **T<sub>es</sub>**: temperatura de los gases del secadero
- **T<sub>gh</sub>**: temperatura de los gases en la entrada del horno



- $T_s=140^{\circ}\text{C}$
- $T_{eh}=1210^{\circ}\text{C}$
- **Criterio de selección**

Existen diversos tipos de intercambiadores de calor. Cada uno de ellos es usado para desempeñar una función específica para la cual ha sido diseñado. Entre los tipos constructivos más habituales y candidatos para desempeñar esta función, destacan:

- **Intercambiadores concéntricos de doble tubo**

Estos intercambiadores están constituidos por dos conductos metálicos unidos y concéntricos. Estos están unidos por una pared que se encarga de separar ambos para que estos no se mezclen y a través del cual tiene lugar el intercambio de calor.

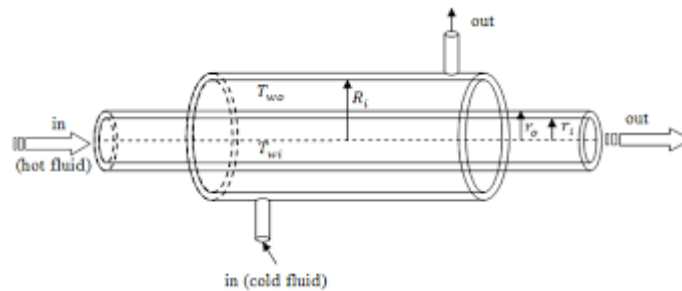


Fig. 20 Intercambiador de doble tubo.

Según el flujo que corre por estas, pueden clasificarse en:

- Equicorriente
- Contracorriente

En esta última se permite un mayor intercambio de calor entre ambos fluidos.

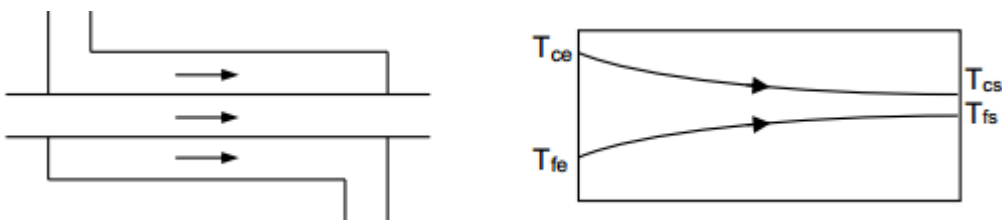


Fig. 21 Intercambiador de calor de doble tubo en equicorriente.

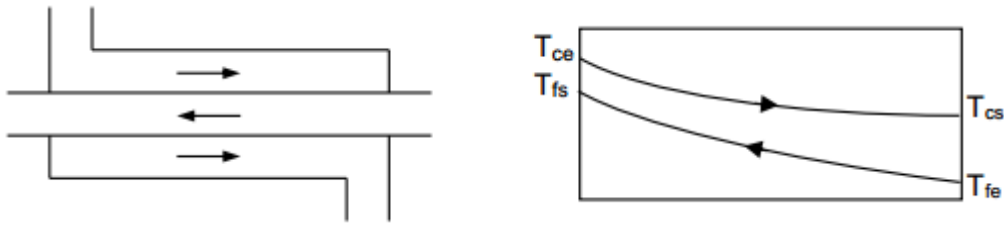


Fig. 22 Intercambiador de calor de doble tubo en contracorriente.

- **Intercambiador de flujos cruzados aleteados**

Consta de un conjunto de planchas formadas en su interior por tubos horizontales de sección rectangular, dispuestas en paralelo y perpendicular alternativamente, formando niveles. Estos tubos estarán constituidos por paredes corrugadas. Los tubos mantienen una separación entre estos para permitir el paso del fluido.

Este diseño es fundamentalmente para fluidos con bajo coeficiente de transferencia de calor, como gases, o algún fluido con estas características.

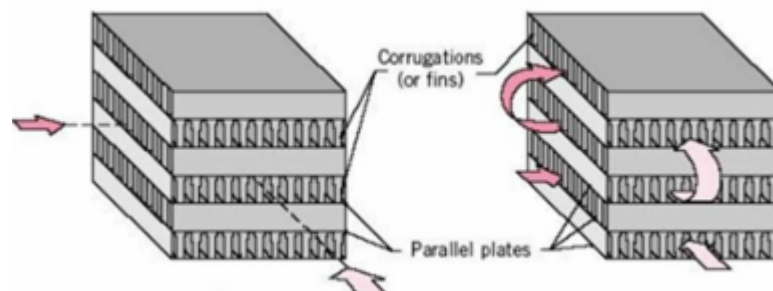


Fig. 23 Intercambiador de flujo cruzado de placas corrugadas.

- **Intercambiador de haz de tubos y carcasa**

Consta de un cuerpo cilindro exterior (carcasa), en cuyo interior hay dispuesto un haz de tubos con cierta separación para dejar paso a uno de los fluidos, mientras el otro circula por el interior de los tubos. Si existe una gran diferencia de presiones, el fluido que posea más presión será el seleccionado para circular por el interior de los tubos, principalmente, ya que los tubos suelen fabricarse para soportar mayores presiones.

Estos intercambiadores pueden tener un gran número de configuraciones basadas en los pasos que los fluidos realizan por la carcasa y por los tubos, siendo la más sencilla un paso tubos y un paso por carcasa. Los fluidos, para favorecer el salto térmico se moverán en contracorriente.

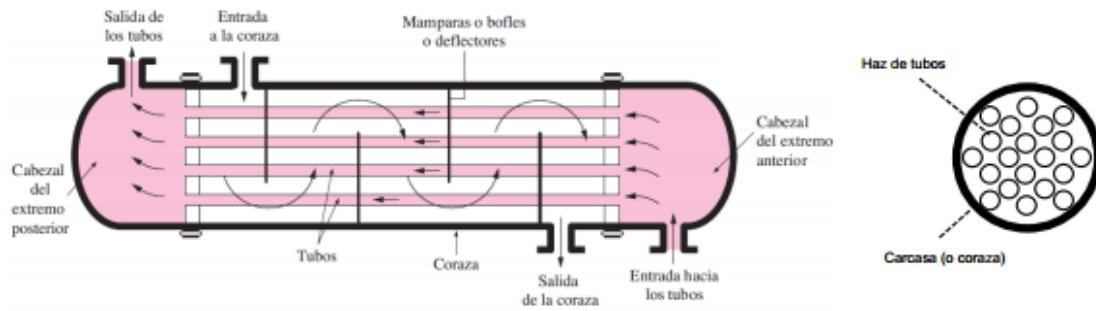


Fig. 24 Intercambiador de carcasa y tubos. 1 paso por carcasa y 1 paso por tubos.

Cuanto mayor sea el número de pasos en el intercambiador mayor será el salto térmico de cada fluido a su paso por este, y con ello la potencia térmica intercambiada. Igualmente, la presencia de deflectores forzará la dirección del flujo y favorecerá el intercambio de calor.

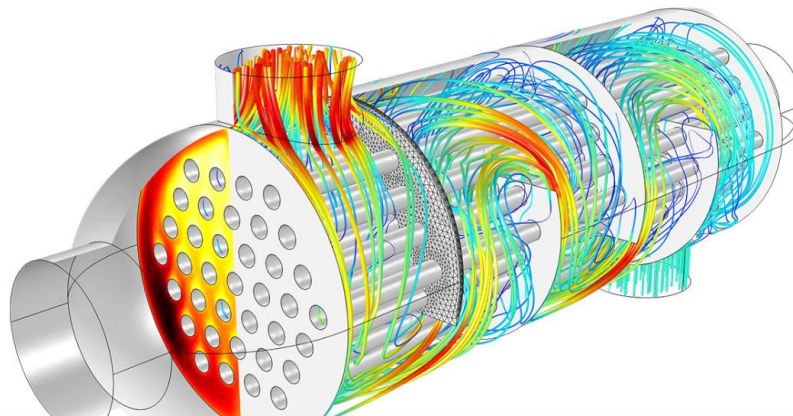


Fig. 25 Intercambiador de carcasa y tubos, con presencia de deflectores

Fuente: Curso de Transmisión de Calor, ICAI.

- **Intercambiador de placas: PHE.**

Se configura en láminas delgadas separadas entre sí, rectangulares con un diseño corrugado para facilitar la transferencia de calor. Los fluidos circulan paralelamente a las placas, de modo que a un lado de cada placa siempre circula el fluido frío y por el otro, el fluido caliente. Este intercambiador utilizará una configuración de los fluidos en contracorriente.

Existen cuatro aberturas en las caras del cubo rectangular empaquetado en los extremos del lado menor a estas. Por dos de estas aberturas circula el fluido caliente a través de dos tubos hasta el primer hueco entre placas por donde fluirá, y en los otros dos circula fluido frío mediante tuberías hasta el hueco entre placas por el que

circula este tipo de fluido en sentido contrario al primero. Las superficies de transferencia de los fluidos serán paredes de separación entre canalizaciones, tal que los fluidos nunca se mezclan.

Las placas son extremadamente delgadas, entre 0.5mm y 0.9mm de espesor, y con un alto coeficiente de intercambio de calor.

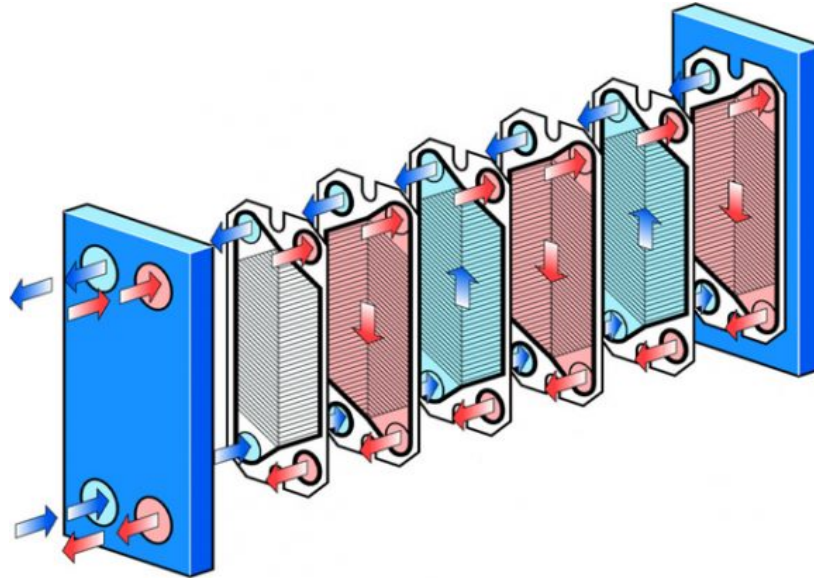


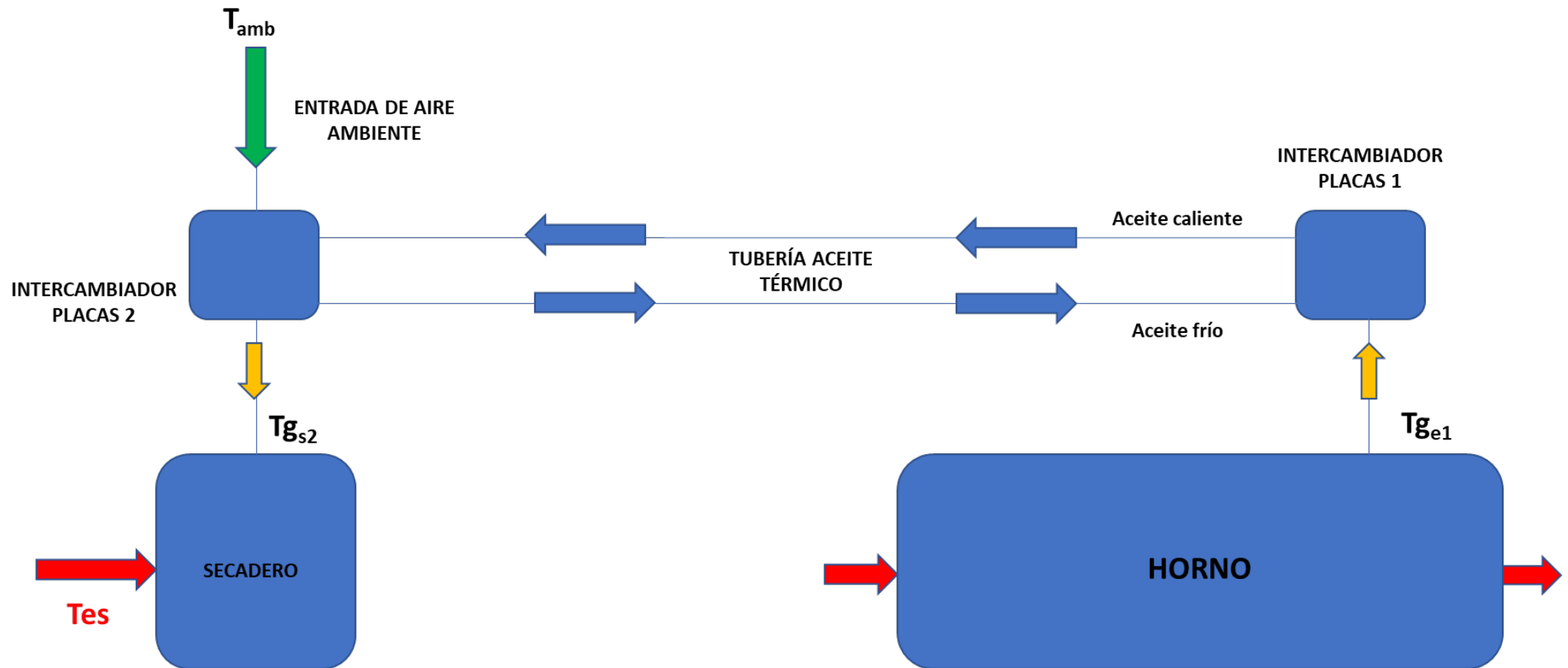
Fig. 26 Intercambiador de placas.

Fuente: Intercambiador de calor, Luis Palleros.

Por otra parte, existen algunas máximas y limitaciones, presentes en la industria cerámica, las cuales se exponen a continuación:

- El aire caliente proveniente del horno no puede ser transportado directamente hacia el secadero, ya que podría dañar o enturbiar las piezas, debido a las impurezas que transporta.
- Existen unas condiciones de operación y curvas de temperaturas en el proceso y estas van a ser consideradas como no modificables:
  - $T_{g1}=400^{\circ}\text{C}$  (temperatura de salida de los gases del horno a la entrada del intercambiador 1).
  - $T_{g2}=T_{es}=140^{\circ}\text{C}$  (temperatura de operación del secadero y temperatura de salida del fluido a la salida del intercambiador 2).

Atendiendo a las condiciones a las cuales opera la línea, se ha diseñado el siguiente intercambiador de calor:



- **Selección del intercambiador**

Finalmente, se ha decidido utilizar un **intercambiador de placas**. Éste, permite intercambiar una gran cantidad de calor y es capaz de provocar un gran salto térmico en los fluidos. Además, su gran área de intercambio y la posibilidad de favorecer o disminuir el calor intercambiado mediante la adición o sustracción de placas intermedias, respectivamente, es un factor primordial, ya que permitirá dimensionar dicho intercambiador en función de la cantidad de potencia térmica que quiera ser transmitida.

Estos intercambiadores son extremadamente eficientes debido a la alta turbulencia a la que están sometidos los fluidos por la compleja geometría de cada paso por placa.

Una de las principales características que ofrece este intercambiador es la capacidad de soportar grandes temperaturas y presiones. Esto es principalmente debido a que las placas dentro de este intercambiador se encuentran totalmente soldadas, lo que hace que se aguanten presiones muy superiores a los intercambiadores de placas con cierres mecánicos (mediante pernos). No obstante, esto, a pesar de aumentar la competitividad, no posibilita el mantenimiento del mismo.

Por otro lado, su estructura provee de la suficiente rigidez para eliminar todas las pequeñas vibraciones que se pueden producir durante su actividad.

Entre sus características principales, se encuentran las expuestas en la siguiente tabla:

*Tabla 2. Dimensionamiento y características del intercambiador*

Presión máxima de operación	30 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura máxima de operación	400°C
Área - superficie de calefacción	0.1 - 2200 m <sup>2</sup>
Material seleccionado	AISI 316 Ti
Tipo de cierre	Soldadura

<b>Fluido 1</b>	<b>Aire</b>
<b>Fluido 2</b>	<b>Aceite térmico</b>

El material seleccionado para el diseño las placas ha sido AISI 316 Ti. Este, es un acero inoxidable austenítico estabilizado con titanio. Este material es muy resistente a la corrosión (más que AISI 316, sin aleación) y a la oxidación dentro de las temperaturas de trabajo.

Al ser un intercambiador sin posibilidad de mantenimiento, se ha decidido establecer un material con grandes propiedades físicas, químicas y mecánicas, para alarga la vida útil del mismo. Entre las principales propiedades físicas de este material se encuentran (se adjunta ficha técnica completa en el Anexo I):

*Tabla 3. Propiedades físicas AISI Ti 316*

Módulo de Elasticidad en Tensión	193 GPa
Densidad	0,287 lb/in <sup>3</sup> 8.000 kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico a 20°C	500 Joules/kg/°K
Resistividad Eléctrica	0,074 x 10 <sup>-6</sup> Ω.m
Punto de Fusión	1.400°C
Conductividad Térmica	16.3 W/m.K

Por otra parte, la tubería encargada del transporte del aceite térmico entre el intercambiador 1 e intercambiador 2 será de ASTM A106 Grado B. Este tipo de tubería de acero al carbono es una de las más utilizada en el ámbito industrial para el transporte de fluidos como: petróleo, gas, aceite, agua, etc. Además, posee unas excelentes propiedades anticorrosivas y antioxidantes.

## ▪ Diseño

Como se puede apreciar en el diagrama expuesto anteriormente, se van a utilizar dos intercambiadores (intercambiador 1, gases horno – aceite e intercambiador 2, aceite–aire ambiente) independientes, pero ambos interconectados a través de una tubería que contiene aceite térmico. La razón por la cual se ha escogido la utilización de dos intercambiadores es debido al posible enturbiamiento que puede ocurrir en las piezas debido a la reutilización del aire caliente proveniente del horno para el secado de estas, que puede provocar problemas superficiales y de acabado.

El aceite térmico tendrá una doble funcionalidad a lo largo de este proceso. Primeramente, en el intercambiador 1, actuará como fluido frío, el cual será calentado gracias a la actuación de los gases del horno ( $T_{g_{e1}}=400^{\circ}\text{C}$ ). El aceite será impulsado (mediante una bomba) hasta la entrada al segundo intercambiador, donde actuará como fluido caliente. En este intercambiador se captará aire del exterior ( $T_{\text{amb}}=23^{\circ}\text{C}$ ) que, gracias a la acción del aceite ahora como fluido caliente, será calentado hasta los  $140^{\circ}\text{C}$  ( $T_{g_{s2}}=T_{\text{es}}$ ). Una vez completado el circuito, el aceite será bombeado de vuelta al primer intercambiador, donde volverá a comenzar el ciclo.

Por otro lado, parte de los gases de entrada al intercambiador 1 (salida del horno) realimentarán los quemadores del horno. Esto es debido a que uno de los mayores gastos energéticos en toda la planta es debido al calentamiento de los gases en los quemadores, para que estos puedan alcanzar altas temperaturas. Es por eso por lo que esta realimentación supondrá un ahorro energético y económico sustancial, ya que se pasa de captar el aire a temperatura ambiente, a introducirlo a una temperatura de aproximadamente  $400^{\circ}\text{C}$ .

Adicionalmente, la tubería encargada de transportar el aceite cuando este está caliente va a ser revestida con aislante térmico, para minimizar la pérdida de temperatura del fluido cuando este viaja desde el intercambiador 1 hasta el intercambiador 2. Todas las pérdidas que se produzcan en este tramo afectarán negativamente al rendimiento total de la instalación. Es por eso muy importante realizar esta acción, sabiendo además que ASTM A106 Grado B, con un 30% en carbono, posee una alta conductividad térmica.

Con esto, se busca soportar el 100% de la potencia térmica necesaria del secadero.

▪ **Cálculos**

Una vez conocidos las propiedades de ambos fluidos y las temperaturas de operación de los mismo a lo largo del proceso, se va a estimar la cantidad de calor que va a ser intercambiado en el total del proceso, según la siguiente ecuación:

Calor transmitido por un fluido entre la entrada y la salida.

$$q = m \cdot C \cdot (T_e - T_s)$$

Como estamos tratando un intercambiador de dos corrientes, el calor cedido por el fluido caliente ha de ser el mismo que el absorbido por el fluido frío, resultando la siguiente ecuación:

$$m_c \cdot C_c \cdot (T_{ce} - T_{cs}) = m_f \cdot C_f \cdot (T_{fs} - T_{fe})$$

Se han estimado los siguientes parámetros para determinar el calor intercambiado entre ambos fluidos:

*Tabla 4. Valores estimados para el cálculo del calor intercambiado.*

$m_c$	<b>0,35m<sup>3</sup>/s</b>
$T_{ce}$	<b>23°C</b>
$T_{cs}$	<b>140°C</b>

Se ha estimado el caudal másico considerando que dentro del secadero vertical existen 10 ventiladores de 1,5m de diámetro cada uno y acoplados de dos en dos, encargados de mover el aire caliente. Estos ventiladores tendrán capacidad de mover hasta 126m<sup>3</sup>/h de aire. Por lo tanto, se ha supuesto un caudal de aire entrante por la tubería es de **1260m<sup>3</sup>/h**, es decir, 0,35m<sup>3</sup>/s.

Igualmente, para determinar el calor específico del aire, se ha recurrido a sus tablas de propiedades (Tabla 15, Anexo I), escogiendo el valor correspondiente a 80°C, **1008 J/kg K**, al tratarse de la temperatura media del fluido a lo largo del proceso de intercambio.

Por lo tanto, el calor mínimo que tiene que ser intercambiado durante este proceso resulta:

$$q = mf \cdot Cf \cdot (Tfs - Tfe)$$

$$q = 0,35 \cdot 1008 \cdot (140 - 23)$$

Obteniéndose:

$$q = 41,28 \text{ KJ}$$

$$q = 0,011466 \text{ kWh}$$

Este es el valor mínimo de calor que tiene que ser intercambiado para conseguir que los secaderos funcionen al 100% de su capacidad gracias a este proceso.

Para el cálculo anterior se han escogido los parámetros pertenecientes al fluido frío en el intercambiador 2 (aire), ya que es el punto que más variables conocemos y menos valores hemos de estimar.

#### ▪ **Conclusión**

En definitiva, la puesta en marcha de este dispositivo va a suponer múltiples beneficios que supondrán una optimización del consumo de la energía, con su consiguiente reducción del coste y ahorro en el suministro energético.

Entre los principales beneficios que ofrece la regeneración de calor se encuentran:

- Una reducción de hasta un 30% en el consumo de combustibles fósiles para el calentamiento de los gases del secadero.
- Un aumento del tiempo de la vida útil de los equipos, ya que estos trabajan en unas condiciones de mayor rendimiento.
- Una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes contribuyendo a la reducción del impacto sobre el Calentamiento Global, también evitamos las emisiones de otros gases de Efecto Invernadero y contaminantes a la atmósfera (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.).
- Evitar un sobredimensionamiento de equipos y sobrecargas.
- Mejora de la imagen corporativa de la empresa.

### III. EMISIONES Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

En función de los procesos llevados a cabo, la industria cerámica genera determinadas emisiones al aire, al agua y al suelo; además de poder verse el entorno afectado por el ruido y los olores desagradables. Estas emisiones varían en función de diferentes parámetros: las materias primas, los combustibles, los métodos de producción y otros agentes externos.

Un estudio llevado a cabo por Valeria Ibáñez Forés, Ana Gómez Parra, M<sup>a</sup> Dolores Bovea, Antonio Gallardo y Francisco J. Colomer, llamado Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), se ha encargado de realizar una caracterización de los residuos sólidos peligrosos (RP) y los no peligrosos (RNP) analizando los residuos de más de 40 empresas fabricantes de pavimento y revestimiento cerámico y cuyos resultados se exponen a continuación:

- **Generación y caracterización de residuos:**

Las tablas 7 y 8 recogen la caracterización, según la Orden MAM 304/2002 (Código LER), el Real Decreto 952/1997 y el Real Decreto 833/1989, de los RNP y RP, respectivamente, producidos en la industria azulejera.

*Tabla 5. Codificación de los RP y RNP según la legislación española (1).*

RESIDUOS NO PELIGROSOS	CÓDIGO LER	DEFINICIÓN
Lodos acuosos con material cerámico	08 02 02	Lodos acuosos que contienen materiales cerámicos
Suspensión acuosa con material cerámico	08 02 03	Suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos
Residuos de mezclas antes de cocción	10 12 01	Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción
Residuos cerámicos cocidos	10 12 08	Residuos de cerámica, ladrillos, tejas y materiales de construcción (después del proceso de cocción)
Papel y cartón	15 01 01	Envases de papel y cartón
Plástico	15 01 02	Envases de plástico
Palets rotos/madera	15 01 03	Envases de madera
Envases metálicos	15 01 04	Envases metálicos
Filtros de mangas no contaminados	15 02 03	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras distintos de los especificados en el código 15 02 02
Revestimientos y refractarios/ Lamas y rodillos cerámicos	16 11 06	Revestimientos y refractarios procedentes de procesos no metalúrgicos, distintos de los especificados en el código 16 11 05
Chatarra	17 04 07	Metales mezclados
RSU	20 03 01	Mezclas de residuos municipales
Lodos de fosas sépticas	20 03 04	Lodos de fosas sépticas

Tabla 6. Codificación de los RP y RNP según la legislación española (2).

RESIDUOS PELIGROSOS	CÓDIGO LER	DEFINICIÓN	CÓDIGO DEL RESIDUO (Orden MAM/304/2002, RD 952/1997 y RD 833/1988)
Aceite hidráulico usado/ ceras y grasas	13 01 10*/ 13 02 05*/ 12 01 12*	Aceites hidráulicos minerales no clorados/ Aceites minerales no clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes/ Ceras y grasas usadas	Q7//R9//L8-9/P19//C51//H5-14//A272//B4201/B4203/B0019
Disolventes y mezclas de disolventes	14 06 03*	Otros disolventes y mezclas de disolventes	Q7//R13//L5//C41//H3B-5//A272//B0005/B4203
Envases de plástico contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R3//S36//C15-18-40-41-51//H5-14//A272//B4203
Envases de papel contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R3-5//S36//C15-18//H5-14//A272//B4203
Aerosoles	15 01 11*	Envases metálicos, incluidos los recipientes a presión vacíos, que contienen una matriz porosa sólida peligrosa (por ejemplo, amianto)	Q5//D15//R4//S12-36//C40-41-51//H3B-5//A272//B4203
Filtros de aceite usados	16 01 07*	Filtros de aceite	Q6//R4//S8//C51//H5-14//A272//B4201/B0019
Trapos y absorbentes contaminados	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S34//C40-41-51//H5//A272//B0019
Componentes eléctricos y electrónicos/ equipos informáticos	16 02 13*	Equipos desechados que contienen componentes peligrosos, distintos de los especificados en los códigos 16 02 09 a 16 02 12	Q14//R13//S40//C6-18//H6-14//A272//B4201
Sólidos contaminados	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S34//C51//H5-6//A272//B4201
Tierras contaminadas	17 05 03*	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas	Q12//D9//R13//S23//C51//H5-6//A272//B4201
Telas de pantallas serigráficas	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q5//D15//S40//C41-51//H5-14//A272//B4201
Materiales de aislamiento	17 06 01*	Materiales de aislamiento que contienen amianto	Q14//D15//S40//C25//H7-14//A272//B4201
Pilas y acumuladores	20 01 33*	Baterías y acumuladores especificados en los códigos 16 06 01, 16 06 02 ó 16 06 03 y baterías y acumuladores sin clasificar que contienen esas baterías	Q6//R13//S37//C5-11-16//H6//A272//B4201
Baterías	16 06 01*	Baterías de plomo	Q6//R13//S37//C18-23//H6//A272//B4201
Tóner en polvo	08 03 17*	Residuos de tóner de impresión que contienen sustancias peligrosas	Q6//R3//S40//C41//H14//A272//B0019
Tubos fluorescentes y lámparas Hg	20 01 21*	Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio	Q6//R13//S40//C16//H6//A272//B4201
Filtros de mangas	15 02 02*	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas	Q9//D15//S28//C15-18//H5-14//A272//B4201
Envases metálicos contaminados	15 01 10*	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	Q5//R4-13//S36//C41-51//H5//A272//B4203
Líquidos reveladores/ fijadores/ fotolitos	09 01 02*/ 09 01 04*	Soluciones de revelado de placas de impresión al agua/ Soluciones de fijado	Q7//R13//L16//C23-24//H6-8//A272//B0019
Productos cerámicos caducados	08 01 11*/ 16 03 03*	Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas/ Residuos inorgánicos que contienen sustancias peligrosas	Q7//D9//S-P12-27//C7-18//H6-14//A272//B4201
Sólidos inorgánicos de laboratorio	06 04 05*/ 10 12 11*	Residuos que contienen otros metales pesados/ Residuos del vidrioado que contienen metales pesados	Q7//D9//S25//C15-18//H6-14//A272//B4201
Revestimientos y refractarios	16 11 05*	Revestimientos y refractarios, procedentes de procesos no metalúrgicos, que contienen sustancias peligrosas	Q6//D15//S40//C25//H6//A272//B4201

Por otra parte, se han mostrado las cantidades de residuos peligrosos y no peligrosos generados por m<sup>2</sup> de baldosa producida, como promedio de los valores obtenidos de 40 empresas fabricantes de pavimento y revestimiento cerámico en España. Adicionalmente, la cantidad de residuos producidos se han separado según los procesos que conlleva la producción.

Tabla 9. Cantidades de RP y RNP generados por m<sup>2</sup> de baldosa producida. Asignación a procesos unitarios.

	1.Recepción de tierras	2.Prensado	3.Secado	4.Esmaltado	5.Cocción	6.Clasificación y embalaje	7.Almacenaje	8.Procesos auxiliares	TOTAL
<b>RP</b>									
Productos cerámicos caducados				1,03E-03				1,03E-03	2,05E-03
Aceite hidráulico usado/ceras/grasas		3,85E-04						3,85E-04	7,69E-04
Envases de papel contaminados				6,51E-04					6,51E-04
Líquidos reveladores/fijadores/fotolitos								5,08E-04	5,08E-04
Envases de plástico contaminados				5,08E-04					5,08E-04
Sólidos inorgánicos de lab								3,94E-04	3,94E-04
Sólidos contaminados	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,98E-05	3,18E-04
Materiales de aislamiento			1,34E-04		1,34E-04				2,67E-04
Tierras contaminadas		2,29E-04							2,29E-04
Trapos y absorbentes contaminados	5,22E-05	5,22E-05	5,22E-05		5,22E-05				2,09E-04
Revestimientos y refractarios			1,04E-04		1,04E-04				2,07E-04
Guías, correas, cintas transportadoras	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,17E-05	1,74E-04
Disolventes y mezclas de disolventes								1,33E-04	1,33E-04
Baterías								1,31E-04	1,31E-04
Filtros de mangas	4,20E-05	4,20E-05		4,20E-05					1,26E-04
Telas de pantalla serigrafía								9,05E-05	9,05E-05
Envases metálicos contaminados				8,99E-05					8,99E-05
Filtros de aceite usados		1,89E-05						1,89E-05	3,78E-05
Tubos fluorescentes y lámparas Hg		3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	3,26E-06	2,28E-05
Aerosoles	6,25E-06	6,25E-06						6,25E-06	1,87E-05
Pilas								5,57E-06	5,57E-06
Tóner en polvo								5,27E-06	5,27E-06
Cintas de impresora								3,77E-06	3,77E-06
<b>SUMA:</b>	<b>1,62E-04</b>	<b>7,98E-04</b>	<b>3,54E-04</b>	<b>2,38E-03</b>	<b>3,54E-04</b>	<b>6,48E-05</b>	<b>6,48E-05</b>	<b>2,77E-03</b>	<b>6,95E-03</b>
<b>RNP</b>									
Suspensión acuosa con material cerámico				1,42E+00					1,42E+00
Lodos acuosos con material cerámico				8,45E-01					8,45E-01
Testillo previa-cocción		6,49E-01							6,49E-01
Testillo esmaltado cocido					1,37E-01	1,37E-01			2,74E-01
Lodos de fosas sépticas								1,15E-01	1,15E-01
Plástico						1,29E-02		1,29E-02	2,58E-02
Chatarra						1,25E-02		1,25E-02	2,50E-02
Rodillos cerámicos					4,39E-03				4,39E-03
Papel y cartón						2,19E-03		2,19E-03	4,39E-03
Palets rotos/madera						1,37E-03	1,37E-03		2,74E-03
RSU								2,50E-04	2,50E-04
Filtros de mangas no contaminados		1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05				5,00E-05
<b>SUMA:</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>6,49E-01</b>	<b>1,25E-05</b>	<b>2,26E+00</b>	<b>1,41E-01</b>	<b>1,66E-01</b>	<b>1,37E-03</b>	<b>1,43E-01</b>	<b>3,36E+00</b>

Como se puede apreciar en las tablas expuestas, la cantidad de residuos peligrosos que esta industria genera es un 0,19% del total de los residuos generados. Es por eso por lo que hay prestar especial atención a los RNP, pero sin descuidar a los RP.

Los residuos peligrosos han de ser tratados de una manera específica para cada uno de ellos para minimizar su impacto medioambiental.

Basándose en el estudio presentado, se va a diseñar un tratamiento específico para cada uno de los principales residuos y emisiones generadas, dividiendo estos en tres áreas bien diferenciadas:

- Aire
- Suelo

- Agua

### **Aire. Emisiones.**

En España, la industria es la responsable de la emisión del 14,1% del total de los gases contaminantes emitidos a la atmósfera.

Las principales emisiones a la atmósfera dentro del sector cerámico son:

- Partículas de polvo
- Hollín
- Gases: CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, compuestos fluorados y clorados inorgánicos y metales pesados.

Principalmente, se generan emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles durante el proceso de secado y cocción (a temperaturas comprendidas entre 700°C y 1300°C). Los combustibles fósiles que se utilizan para estos procesos principalmente son: el **gas natural** (el más común), gas licuado de petróleo (propano y butano), y el fuelóleo.

No existen catalizadores industriales capacitados para reducir en gran cantidad las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, gracias a la recuperación de calor se va a reducir el uso de combustibles fósiles, ya que el secadero estará soportado al 100% por la misma.

Es por eso por lo que se han establecido unos Derechos de emisión de gases de efecto invernadero regulado por el Reglamento (UE) N°600/2012 de la Comisión. En caso de que se la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido sea superior a la cantidad concedida, las empresas habrán de pagar la diferencia entre los mismos.

Una empresa de nueva creación no dispondría de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, no obstante, este factor se irá corrigiendo a medida que transcurran las anualidades, ajustándose a la producción.

Un horno convencional cerámico de combustión (Gas natural) emitirá aproximadamente 6500 toneladas de CO<sub>2</sub> en un año. Un horno de nueva generación puede llegar a disminuir las emisiones hasta las 6000 toneladas anuales. El número de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos por cada kWh y m<sup>2</sup> producido, tienen los siguientes valores aproximados:

$$\text{Ratio} \frac{tCO_2}{KWh} = 0,0002$$

$$\text{Ratio} \frac{tCO_2}{m^2} = 0,004$$

Actualmente, el precio de cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida se encuentra en 45,03€ (mes de abril), situando la media anual en 39,29€.

Precios CO <sub>2</sub>	EUA	CER
<b>Media anual</b>	<b>39,29 €</b>	<b>0,44 €</b>
Enero	33,43 €	0,37 €
Febrero	37,89 €	0,39 €
Marzo	40,87 €	0,42 €
Abril	45,03 €	0,60 €

Fig. 1. Precios de cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida 2021. Fuente: Sendeco2.

Es por eso por lo que, si un horno estándar cerámico emite entre 6000 y 6500 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, los costes de operación son muy elevados. Situando el coste total de emisiones entre los 235.740€ y 255.385€. Por lo tanto, es necesario evolucionar hacia soluciones y tipos de hornos menos contaminantes y más sostenibles, los cuales minimicen los gases procedentes de los combustibles fósiles.

Por otra parte, para eliminar otros gases nocivos emitidos a la atmósfera, o al menos mitigarlos, como los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre e, incluso, las partículas en forma de polvo, se van a instalar unos filtros de mangas catalíticas.

Los filtros de mangas catalíticas son un equipo de separación sólido-gas. Capturan y trasladan las moléculas de dioxinas y furanos del flujo de gas al flujo de residuos sólidos, algunos de ellos incluso las destruyen (<0,1ng/m<sup>3</sup>). Estos filtros tienen una larga vida útil y un nivel de destrucción y captura por encima del 99%.

La estructura microporosa de la membrana filtra el polvo, incluso las partículas finas. Además, reduce la emisión total de toxinas como trazas de metales pesados.



Fig. 27 Filtros de mangas con polvo, debido a su captación.

Este polvo en suspensión acumulado podrá ser disuelto en agua e incorporado en las balsas del sistema de aguas residuales, sin necesidad de recibir un tratamiento previo o ser desechados.

Por otro lado, en estos filtros también se producen reacciones químicas selectivas encargadas de eliminación del NO<sub>x</sub>, producido en la combustión por gas natural, y que garantizan que no sean emitidos óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Los valores de NO<sub>x</sub> emitidos se tienen que encontrar por debajo de 150mg/Nm<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>).

La reducción de la temperatura de los gases emitidos, principalmente provenientes del horno, gracias a la recuperación de calor, tendrá una gran relevancia en el rendimiento que presentaran los filtros donde su temperatura efectiva de operación se encuentra entre los 250°C y 450°C.

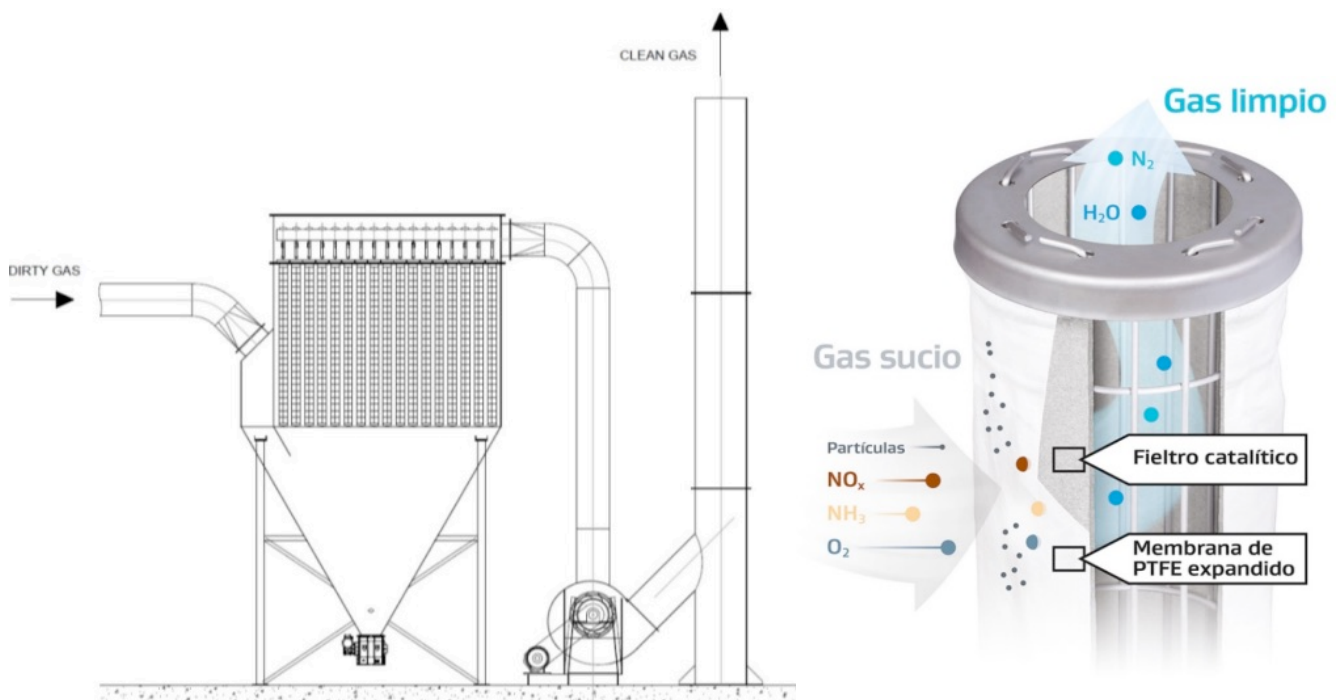
Tabla 7. Clasificación de catalizadores en función de las condiciones de operación de los gases.

Técnica para la eliminación de NO <sub>x</sub>	Porcentaje de reducción de NO <sub>x</sub>	Características
Absorción mediante reacción química	30-50 %	T <sup>º</sup> de operación: 35 °C Reactivo: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Reducción mediante reacción selectiva no catalítica (SNCR)	40-50 %	T <sup>º</sup> de operación: 850-1050 °C Reactivo: amoníaco, urea Relación NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> : 1,5-2,5
Reducción mediante reacción química catalítica selectiva (SCR)	90-95 %	T <sup>º</sup> de operación: 250-450 °C Reactivo: amoníaco, urea Relación NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> : 0,8-1,0 Utilización de catalizador

Entre los materiales que se pueden utilizar como catalizadores, se encuentran:

- Óxidos metálicos (vanadio, tungsteno, molibdeno o cromo) sobre base de dióxido de titanio
- Zeolitas
- Óxidos de hierro envueltos por una fina capa de fosfato de hierro
- Carbón activo

A continuación, se exponen dos imágenes explicativas del funcionamiento de los filtros de mangas catalíticos:



*Fig. 28 Funcionamiento de un filtro de mangas catalíticas.*

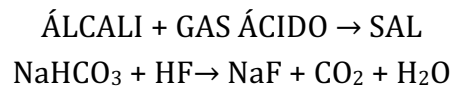
Otro punto fundamental que ha de ser tratado y que tienen una gran presencia en la industria azulejera son las emisiones de ácido fluorhídrico. Este compuesto es un ácido que contribuye a la lluvia ácida y puede afectar considerablemente los alrededores del punto de emisión.

Según la normativa existente, en Europa el valor límite de emisión de HF a la atmósfera es de  $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ .

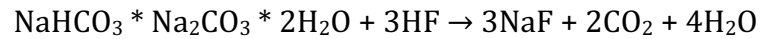
La solución que se propone consiste en emplear la inyección de sorbente seco (DSI) de productos en base de sodio para limpiar los gases efluentes.

La neutralización del HF se puede llevar a cabo a través de dos métodos:

- Utilizando bicarbonato sódico, y produciéndose la siguiente reacción:



- Utilizando trona (TM3), y produciéndose la siguiente reacción:



*Fuente: Solvair.*

Gracias a estas soluciones planteadas se pretende lidiar con las emisiones atmosféricas producidas en las plantas cerámicas. Reduciendo casi el 100% de las partículas de polvo, compuestos fluorados, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre emitidos y encontrándose dentro de los límites establecidos.

## Gestión de Residuos. Tratamiento de agua.

A lo largo del proceso productivo, las piezas se encuentran constantemente en contacto con agua o soluciones acuosas, actuando como refrigerante en procesos de mecanizado y en la aplicación de los esmaltes, respectivamente. Es por eso por lo que la gestión de las aguas residuales es un aspecto medioambiental fundamental que tratar.

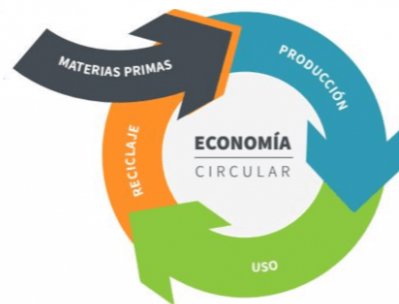
Durante el proceso de pulido, corte y rectificado las piezas se encuentran constantemente bañadas en agua, que actúa como elemento refrigerante de los abrasivos y de las propias piezas. Por otra parte, esta también está presente en la aplicación del esmalte (mediante inmersión), ya que este es una disolución acuosa que cuenta con un 3% de esmalte. El esmalte sobrante del proceso es reutilizado, no obstante, una parte de él es evacuada como residuo.

*Tabla 8. Análisis químico medio de aguas residuales sin depurar provenientes de empresas fabricantes de baldosas.*

<b>Parámetro</b>	<b>Intervalo de variación</b>
pH	7-9
Sólidos en suspensión (mg/l)	1000-20000
Sólidos sedimentables (mg/l)	5-30
Cloruros (mg/l)	100-700
Sulfatos (mg/l)	100-500
Fluoruros (mg/l)	<2
DQO (mg/l)	150-1000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	50-400
Conductividad (mg/l)	1-2
Boro (mg/l)	1-10
Calcio (mg/l)	5-500
Magnesio (mg/l)	10-100
Aluminio (mg/l)	<2
Hierro (mg/l)	<0,5
Zinc (mg/l)	<2
Plomo (mg/l)	<5

Por lo tanto, el agua residual va a contener partículas de polvo, arcillas, tierras, esmalte, etc. de esta manera, el fluido no puede ser desechado de manera tradicional y ha de ser tratado previamente, incluso para ser reciclado como materia prima para el atomizado.

Los lodos acuosos con materiales cerámicos pueden ser reciclados, tratados y devueltos al origen del proceso productivo, la producción del atomizado, creando así una estructura circular manteniendo la utilidad de los productos, componentes y materiales desechados.



Para realizar este tratamiento de aguas residuales se utilizarán bombas que transporten el agua desde donde esta ha sido utilizada y procesada hasta unas balsas presentes en la atomizadora.

En estas balsas el agua será depurada y tratada, limpiándola y creando una sustancia homogénea sin que se detecten diferencias en la claridad y espesor de las aguas. Esta agua, contendrá un pequeño porcentaje de polvo proveniente de la arcilla y de esmalte. Dichas sustancias podrán entrar sin ningún problema en el proceso productivo del atomizado, para la obtención de la barbotina.

La barbotina en el proceso productivo del atomizado es la sustancia que se obtiene mediante la mezcla y molturación de las arcillas y el agua, en este caso depurada y proveniente de la balsa de homogenización, en proporciones del 70% y 30%, respectivamente.

A continuación, se presentan los diferentes valores que ha de mostrar el agua depurada para su posterior introducción en el proceso productivo del atomizado.

Tabla 9. Valores de salida, de diferentes parámetros químicos de la depuradora.

Parámetro	Intervalo de variación
pH	7-9
Sólidos en suspensión (mg/l)	3000
Sólidos sedimentables (mg/l)	0,1
Cloruros (mg/l)	700
Sulfatos (mg/l)	500
Calcio (mg/l)	500
Magnesio (mg/l)	100
Conductividad (mS/cm)	1,8

Para obtener los valores presentes en la tabla anterior se ha de realizar un proceso de depuración que consistirá en las siguientes fases:

1. Primeramente, se utilizarán dos tamices para eliminar los sólidos más gruesos y los finos, respectivamente, previa llegada a la balsa de homogenización.
2. El agua llegará al depósito de homogenización donde se mezclará con el agua del pozo, donde existirá un agitador que asegure una correcta homogenización.
3. Desde el depósito de homogenización, la mezcla se bombeará hasta el reactor de coagulante. En este, se utilizará  $\text{FeCl}_3$  como coagulante e hidróxido de sodio como neutralizante para reducir el PH de la mezcla. A su vez, la mezcla se encuentra en constante agitación.
4. Por último, y cuando todos los sólidos coagulados hayan precipitado, se llevará el agua a los depósitos finales desde donde será introducida como materia prima en el proceso productivo.
5. Introducción como materia prima en el proceso productivo de atomizado.

## Tratamiento de aguas residuales

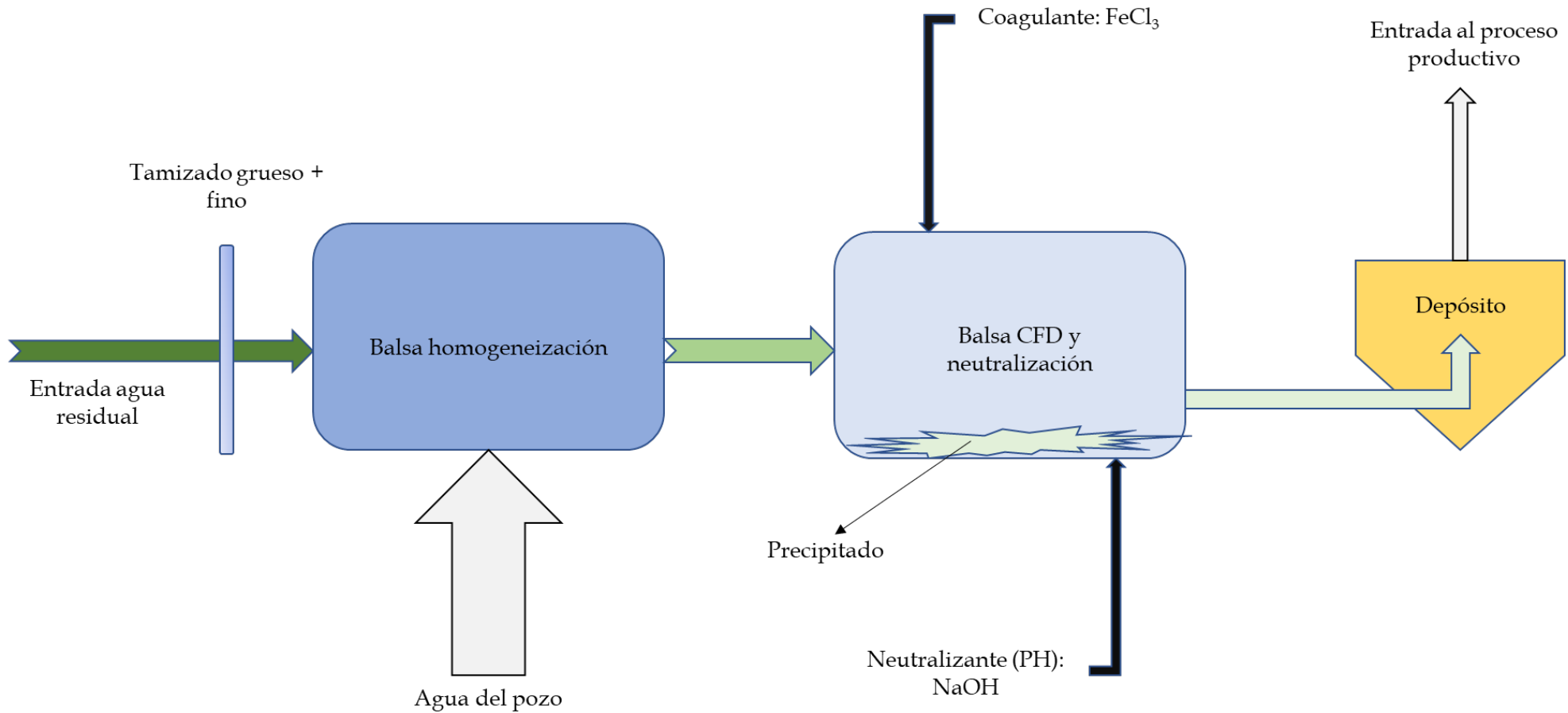


Fig. 29 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales.



*Fig. 30 Instalaciones del Grupo Pamesa para depurar aguas residuales procedentes de 14 fábricas del sector.*

En definitiva, la instalación para depurar las aguas residuales permite un tratamiento seguro y eficiente de los lodos acuosos con materiales cerámicos, devolviéndolos al origen del proceso productivo y creando así una estructura circular, manteniendo la utilidad de los materiales desechados.

## Gestión de residuos. Suelo.

Por otra parte, a lo largo de la producción existen una gran cantidad de mermas de producto tanto crudo como cocido. Durante el total del proceso productivo existen muchos puntos críticos candidatos a provocar la rotura o la merma de material, entre los cuales destacan los siguientes:

- Rotura de la pieza en crudo por mala compactación en la prensa o a lo largo de la línea de transporte. Pieza agrietada o rota.
- Rotura por acumulación de tensiones internas en el secadero.
- Rotura por acumulación de tensiones en el interior del horno o defectos de curvatura que pueden llegar a dejar la pieza inservible.
- Rotura durante el proceso de pulido.
- Material roto durante el proceso de corte.
- Otros defectos que pueden aparecer en las piezas a lo largo del proceso o, incluso, piezas desechadas después de realizar ensayos o pruebas de calidad sobre la mismas.

Se pueden diferenciar dos tipos diferenciados de tratamientos de los residuos sólidos dependiendo de su estado; crudo o cocido.

### Crudo

El material crudo como residuo sólido puede tratarse de diversas maneras:

- Puede almacenarse, transportarse e introducirse en las balsas de homogenización de lodos acuosos para su tratamiento y reutilización como materia prima en el proceso productivo del atomizado, siempre y cuando se encuentre en pequeñas proporciones en los lodos, entre 0,5% y el 1,4%. También, dependiendo de la instalación, pueden llegar a ser bombeados a las balsas si estos se encuentran en pequeñas concentraciones.  
Igualmente, los polvos acumulados en los filtros de mangas catalíticos no eliminados pueden ser introducidos en agua, disueltos y enviados a estas balsas para que conjuntamente sean tratados.
- La otra forma de tratar este tipo de residuo sólido, en caso de que sea de gran tamaño, es que este sea triturado y reintroducidas en el proceso de atomizado como materia prima, tierra/arcilla.

## **Cocido**

Por otro lado, el material que ha sufrido una rotura una vez cocido ha de ser necesariamente triturado. Una vez triturado, al igual que los residuos sólidos crudos (de grandes dimensiones) sean reintroducidos en el proceso como materia prima del mismo, actuando como tierra/arcilla.

No obstante, este residuo triturado e introducido como materia prima no producirá atomizado de alta calidad, ya que ha sido tratado previamente y algunas de sus propiedades iniciales han sido modificadas. El atomizado producido con este material reintroducido será de una calidad inferior que la arcilla proveniente de las canteras.

De esta manera, se está manteniendo una estructura circular en cuanto a la reutilización de los residuos sólidos generados a lo largo del proceso, evitando que estos sean desechados en el vertedero. Sin embargo, los residuos sólidos cocidos que sean trasladados a vertederos tendrán su aplicación en la producción de pavimentos para carreteras.

#### IV. TÉCNICAS PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS y CONTROLADORES

##### Controladores

Para llevar a cabo la lectura, control y tratamiento de la información de cada una de las etapas, a poder ser, de manera automática se van a utilizar múltiples controladores (reguladores, sensores, etc.)

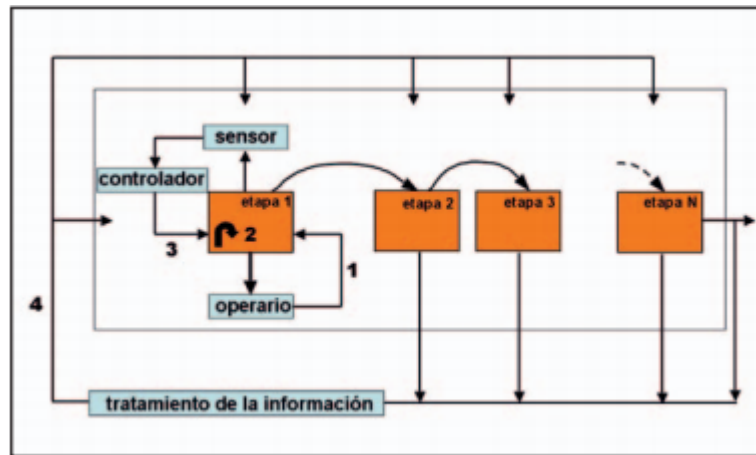


Fig. 31 Esquema de funcionamiento de un control implantado en planta.

##### Control de temperatura

El control de **temperatura del horno** se va a realizar mediante un **controlador PID**, gracias al cual se puede obtener un control efectivo y un seguimiento preciso de la temperatura que se encuentra en el interior de este.

La entrada del controlador estará determinada por la temperatura de referencia marcada en los quemadores. No obstante, la temperatura real presente en el interior del horno puede sufrir alguna desviación, y esta será corregida a través del control Proporcional Integral Derivativo (PID), encargado de anular dicho error.

Esto permitirá mantener una temperatura constante y sin desviaciones en el interior del horno, aumentando así la eficiencia del proceso de cocción de las piezas.

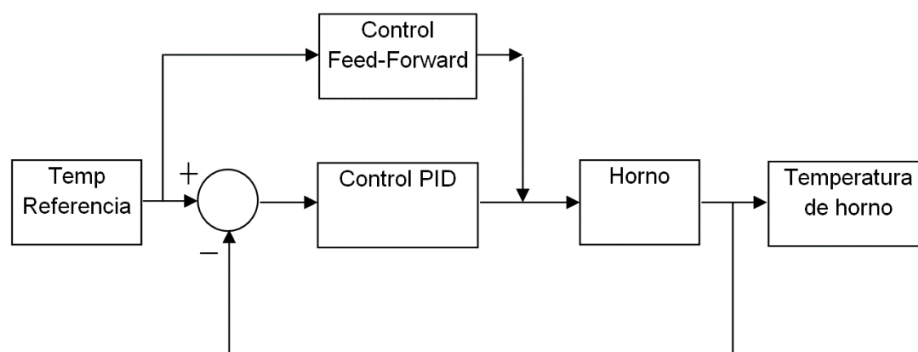


Fig. 32 Control PID que se va a utilizar para controlar la temperatura del horno.

## Infrarrojos. Lectores de humedad

Otro punto fundamental necesitado de control debido a su importancia en el proceso es la humedad con la cual entra el atomizado en la prensa. Para ello se va a utilizar un **lector de humedad mediante infrarrojos**, el cual nos permite conocer el porcentaje de humedad relativa que posee la mezcla con exactitud.

La humedad relativa tiene una influencia directa con la presión que la prensa ha de aplicar para alcanzar una buena compactación. Es por eso por lo que para controlar la misma, y homogeneizar la compactación y densidad aparente de todas las piezas, va a utilizarse un **controlador en lazo abierto**. Este controlador será el encargado de transmitir la presión que la prensa ha de aplicar para conseguir un nivel de compactación uniforme en todas las piezas.

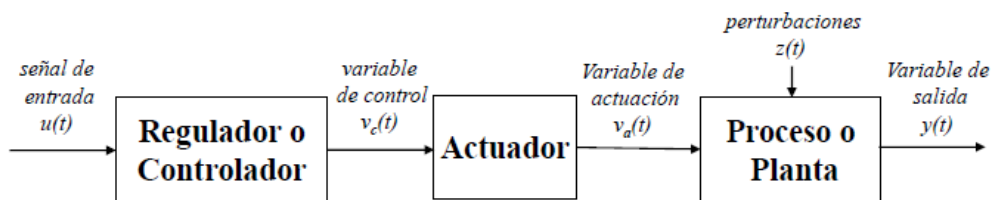


Fig. 33 Regulador en lazo abierto.

El lector de infrarrojos determinará la humedad relativa del atomizado, la cual actuará como señal de entrada, esta variable pasará directamente al actuador que convertirá el valor leído en la entrada determinando la presión que la prensa ha de aplicar y, por último, este valor será transmitido a la prensa para que aplique la presión correspondiente. Indistintamente de la precisión de este controlador, siempre estará expuesto a perturbaciones que podrán variar la variable de salida.

## Sensores de nivel. Esmalte.

El esmalte, está dispuesto en pequeños depósitos en la estación de esmaltado. Este, está sometido a una continua vibración y tamizado para evitar la presencia de grumos y burbujas.

El depósito ha de ser continuamente rellenado, y para detectar dicho instante se va a utilizar un controlador en lazo abierto.

En este caso, la señal de entrada será un sensor encargado de detectar cuando el nivel de esmalte cae por debajo del nivel umbral. Cuando este sensor se active, se dará entrada de nueva disolución al depósito.

De esta manera, se conseguirá automatizar este proceso sin necesitar la presencia de un operario encargado de rellenar el depósito cada vez que este se encuentre con un nivel bajo.

### Técnicas predictivas y preventivas

Las técnicas predictivas y preventivas se tratan se un conjunto de tareas de predicción y mantenimiento para intuir y compensar el desgaste que las máquinas van sufriendo con el paso del tiempo, siempre antes de que surja una avería.

### Ensayos no destructivos. Técnicas predictivas y preventivas. Rayos X

Se va a analizar el interior de las piezas, en crudo, mediante un método no destructivo de lectura con rayos X. Este tipo de lectura va a posibilitar conocer múltiples de las principales características de las piezas y, además, determinar el deterioro y descuadre de los moldes de la prensa.

Como se ha comentado anteriormente, la compactación y la densidad aparente en las piezas son un aspecto fundamental de las mismas para conseguir un producto final de calidad. A continuación, se muestra una inspección realizada mediante de rayos X en 2 alveolos distintos.

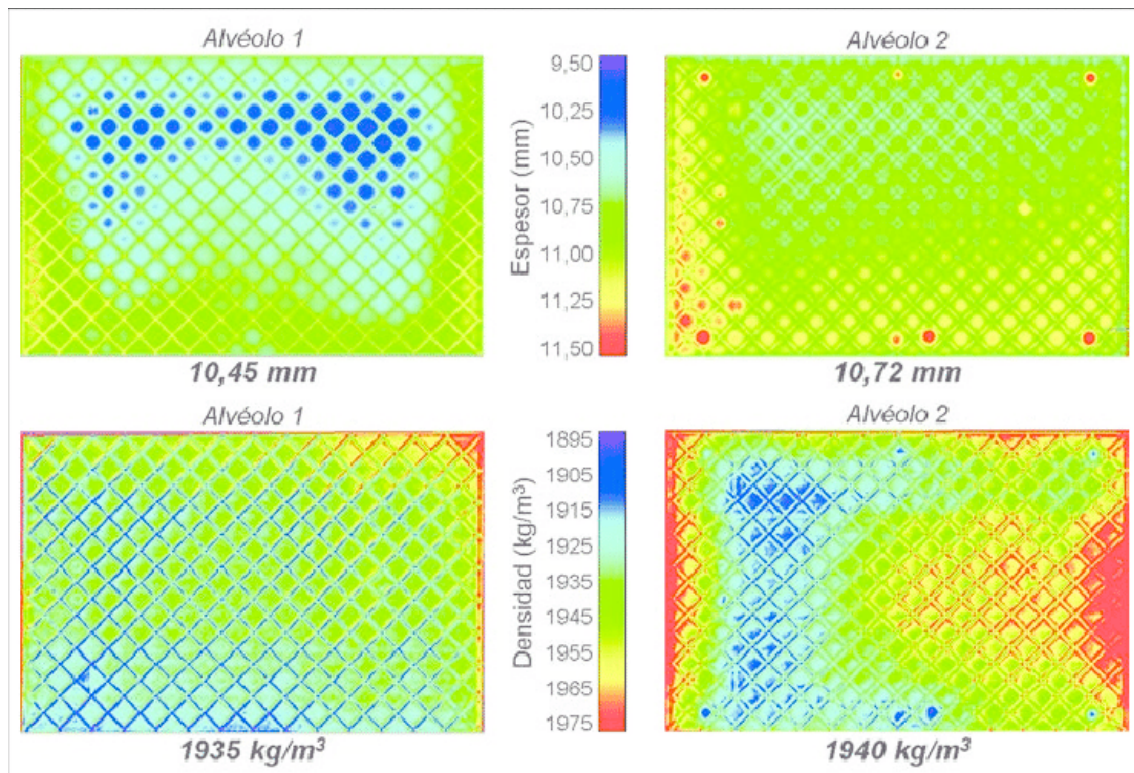


Fig. 34 Lectura de 2 piezas prensadas en 2 alveolos distintos mediante rayos X.

La densidad aparente es la variable más importante de una pieza tras el proceso de prensado. Esta, influye en el comportamiento de la pieza durante las etapas posteriores y condiciona alguna de las características más importantes del producto final. La densidad aparente refleja la estructura porosa del soporte por lo que determina, para una misma composición, entre otros:

- Resistencia mecánica.
- Permeabilidad a los gases.
- Módulo de elasticidad

Siguiendo el modelo expuesto en la figura anterior (Fig. 29), para obtener una buena compactación, el color representado en la pieza debe ser lo más homogéneo posible, además, teniendo los valores pertinentes.

- Procedimiento del ensayo

Este ensayo no destructivo va a ser principalmente realizado para conocer el desgaste y descuadre de los tapetes y moldes de la prensa en continuo. Seguirá el siguiente procedimiento.

Cada  $n=100$  golpes de la prensa, una pieza será extraída de la línea principal mediante un baipás, que llevará una pieza a ser estudiada a la estación de lectura. En esta pieza serán estudiadas todas las propiedades captadas mediante el lector, focalizándose principalmente en la densidad aparente.

Una prensa estándar, puede dar una media de entre 5 y 7 golpes por minuto, dependiendo del formato producido. Por lo tanto, se realizaría un ensayo cada 15 minutos, aproximadamente.

La prensa puede sufrir desgastes o descuadres de los moldes o tapetes con el tiempo. Al ser un movimiento repetitivo y constante, poco a poco estos tienden a deteriorarse. Este deterioro no es apreciable a simple vista, sin embargo, puede manifestarse en forma de grietas o, incluso, roturas debido a la generación de tensiones internas a posteriori (durante el secado, la cocción, el corte o la manipulación del material).

La vida útil de un molde se sitúa entre los 600.000 y 1.000.000 de golpes y según el formato producido, se fijarán dos valores umbrales:

- El primero de ellos detectará cuándo la densidad aparente, la compactación y la homogeneidad en las piezas comienza a decaer. En este momento, se emitirá un aviso en el cual se indicará que los moldes y tapetes pueden encontrarse descuadrados y se recomendará su reajuste o cambio en caso de deterioro.

El valor del primer umbral estará marcado según diseño. Cuando la compactación en algún punto de la pieza caiga por debajo de este valor, saltará el aviso.

Este primer umbral estará situado en el entre los 500.000 – 600.000 golpes, pudiendo existir un descuadre o desgaste prematuro.

- El segundo, parará por completo la línea y la prensa. A partir de este umbral, todas las piezas que sean producidas son susceptibles de rotura, no obteniéndose así una buena calidad final de producto. Estas, serían muy propensas a roturas debido a una mala compactación al inicio de su fabricación.

El segundo umbral estará principalmente localizado de los 600.000 golpes en adelante y también estará marcado según diseño.

Es por eso por lo que se recomienda que los moldes y tapetes de la prensa sean cambiados entre el primer y segundo umbral, no perdiendo así calidad en las piezas en ningún momento.

Este sistema de lectura de piezas mediante rayos X también podrá ser utilizado para otras funciones, como lectura de piezas una vez cocidas, realización de ensayos y estudio de la composición interna de las piezas.

Otro tipo de ensayo no destructivo también muy común para examinar las piezas es mediante ultrasonidos. No obstante, es un procedimiento mucho más lento, laborioso y de menor precisión, necesitando la presencia de personal especializado que realice este ensayo.

- Sistema lean para mantener el nivel de productividad

Para no perder el nivel productividad como consecuencia del ensayo de rayos X en continuo, se va a desarrollar un sistema lean para al menos mantenerla.

El lector de ultrasonidos estará situado entre la prensa y el secadero. Antes de la entrada a este último se situará un compenser vertical con una capacidad de almacenamiento de dos piezas por bandeja. Por lo tanto, la pieza ensayada, extraída mediante un baipás de la línea principal, será reincorporada a una de las vacantes presente en una bandeja del compenser.

El funcionamiento del compenser se basa en el almacenamiento progresivo de dos piezas por cada bandeja, acumulando y organizando las piezas antes de su entrada conjunta al secadero.

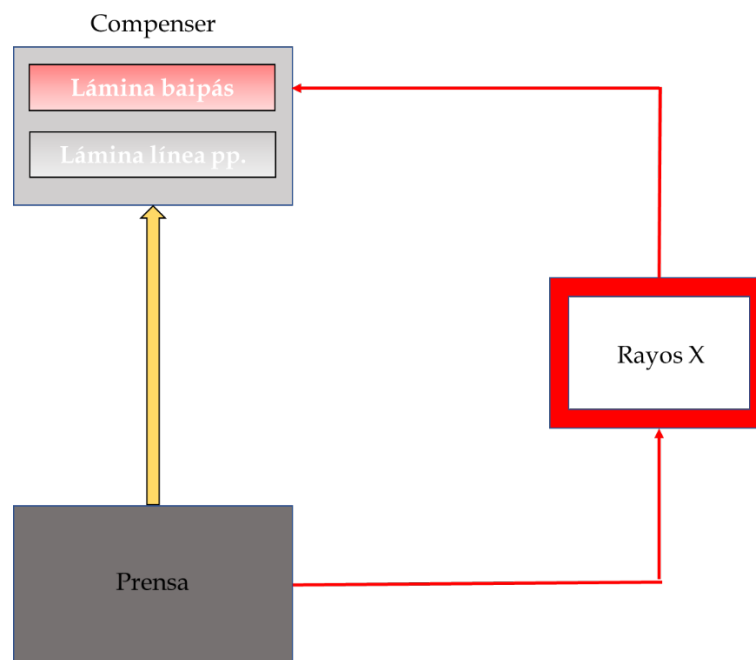


Fig. 35 Diagrama de bloques funcionamiento sistema lean.

Este sistema, no solo es una manera de ensayar y observar la composición de las piezas que se están produciendo, sino que también permite predecir el desgaste y cambio de los moldes y los tapetes de la prensa

- **Conclusiones**

Gracias a todos estos desarrollos se va a fomentar un mantenimiento predictivo y preventivo de la maquinaria, así como la automatización de procesos minimizando la presencia de personal para la realización de tareas repetitivas y de control. Adicionalmente, el lector de Rayos X va a permitir tener un control total sobre el estado de la producción con la realización constante de ensayos sobre las piezas.

## V. SISTEMA DE GESTIÓN DE RECURSOS

### ERP

Además de todas las inversiones realizadas se va a implementar un ERP (Enterprise Resource Planning). Esta, es una herramienta que permite la integración de gran parte de las operaciones de una empresa en un solo sistema centralizado y automatizado que permite gestionar de una manera muy efectiva la logística, la producción, la contabilidad, el inventario y los envíos, evolucionando hacia la Industria 4.0.

De esta manera, se pretende dar rápidos tiempos de respuesta a cualquier problema, agilizando la toma de decisiones y minimizando los costes.

Desde esta herramienta se pretende controlar y gestionar las siguientes áreas de la empresa:

- Procesos de fabricación y productivos.
- EDAR. Gestión de aguas residuales.
- Gestión de procesos administrativos y financieros.

Entre las características principales que va a tener el ERP configurable diseñado, se encuentran:

#### Procesos de fabricación y productivos

- Conectividad total mediante la tecnología IoT (Internet of Things). Esta tecnología permite una interconexión entre todos los dispositivos involucrados en la producción de forma que puedan enviarse grandes volúmenes de datos e información a través de Internet. Además, permite su almacenamiento y directa manipulación en la nube pudiendo variar en cualquier momento los parámetros de operación del proceso productivo. También, permite el acceso desde cualquier dispositivo IOS, Android o PC.
- Centralización de toda la información recibida del proceso productivo: sensores, sistema de rayos X, temperaturas, velocidades de la línea, rendimientos de las maquinas implicadas. Recopilación y análisis de los datos.
- Generación de informes automáticos de todos los datos recibidos del proceso productivo y análisis de la información desde una única ventana global:

generación de gráficas, análisis de datos, identificación de fallos e ineficiencias a lo largo de la línea, problemas de mantenimiento, localización y corrección de averías.

- Gestión y control de las células fotovoltaicas: energía generada para autoconsumo, rendimiento de las mismas, condiciones de operación y recopilación y análisis de datos.
- Gestión y control de la recuperación de calor: energía ahorrada instantánea, rendimiento de la instalación, condiciones de operación y recopilación y análisis de datos.
- Gestión de las tareas productivas y organización eficiente del personal de la planta. Definición del cuadro de personal.
- Planificación de la fabricación en función de las necesidades, incluyendo las posibles desviaciones que estas puedan sufrir en función de la maquinaria, personal y cantidades a producir.
- Seguimiento de incidencias y control de alarmas.

Todas estas funcionalidades que va a aportar el sistema de gestión a la fabricación pretenden minimizar los tiempos de producción, así como los tiempos de respuesta ante cualquier incidente, y, por ende, reducir su coste.

### **EDAR. Gestión de aguas residuales.**

Mediante este sistema de control y gestión se pretende realizar un control predictivo y preventivo de cada una de las etapas del sistema de depuración y tratamiento de agua; focalizándose individualmente en cada una de sus estaciones.

Para la gestión de recursos dedicados a esta área se ha determinado un software inspirado en el software de gestión WIN by SITRA.

Esta herramienta además permitirá adelantarse, de manera sistematizada, a los fallos en los equipos, generando alertas para que los operarios lleven a cabo actuaciones de mantenimiento en cualquiera de los equipos. Telecontrol a distancia pudiendo actuar sobre los equipos:

- Puesta en marcha y detención.
- Cambio de parámetros del proceso.

- Gestión y adquisición de datos permitiendo obtener gráficas de los parámetros y variables de la planta y de los estados de los equipos:
  - Niveles
  - Caudales
  - Presiones
  - Calidades
  - Rendimientos

Elección del periodo de muestreo y rango de representación, creando informes automáticos con los parámetros más significativos (técnicos y económicos). Monitorización de manera continua el estado de la planta mediante sensores, estados de los equipos y alarmas de procesamiento.

Adicionalmente, posee un seguimiento de todas las acciones realizadas en la herramienta, registrando todos los cambios producidos en un amplio periodo de tiempo.

- Vigilancia y gestión de alarmas. Control a tiempo real de la instalación mediante cámaras de vigilancia, pudiendo controlar los siguientes parámetros:
  - Calidad de las aguas de un determinado tratamiento.
  - Zonas de difícil acceso.
  - Presencia de personal.

Con la utilización de este sistema se va a llegar a reducir hasta un 20% la gestión documental, un 15% de los productos químicos y una disminución del 20% en el tiempo de resolución de incidencias en planta.

### **Gestión de procesos administrativos y financieros.**

Para esta área, se ha determinado un software de gestión basado en el SAP Business One Hanna, ERP financiero número uno del mercado. Entre sus funcionalidades principales en esta área se encuentran:

- Trazabilidad de todos los productos producidos, almacenados y vendidos. Conocimiento total de la situación en la cual se encuentran cada uno de los productos, mediante códigos de barras u otros métodos; fecha de producción, partida, tipo de producto, formato, destino final, etc.

Gestión de la cadena de suministro (supply chain), se refiere al conjunto completo de la cadena de producción y comercio, desde la compra de materias primas hasta que llega al comprador final.

- Control de inventario y materias primas. Generación instantánea de informes de disponibilidad y estimaciones.
- Facilitar las tareas de mantenimiento y backup, centralizando la información en una única base de datos.
- Gestión financiera eficaz, automatizando tareas de contabilidad. Unificar las tareas financieras con otros procesos para mejorar las transacciones y mejorar el flujo de efectivo.
- Generación de analíticas e informes reuniendo datos desde múltiples fuentes generando informes puntuales basados en datos de toda la empresa.
- Gestión comercial y de ventas. Controlar los pedidos de los clientes y, además, gestionar los equipos comerciales y crear las estrategias para incrementar el número de ventas.

En definitiva, este sistema de gestión pretende dar un salto de eficacia y eficiencia en los procesos de organización gracias a la coherencia, centralización e interacción de las distintas áreas de la empresa desde una única herramienta, simplificando las tareas de mantenimiento y backup de la información. Adicionalmente, va a permitir reducir al máximo los recursos dedicados a tareas periódicas o repetitivas.

## VI. PRL

### Sistema y técnicas PRL en planta

Con la intención de mejorar la integración de la prevención de accidentes laborales, se ha desarrollado el siguiente protocolo a aplicar en los trabajadores de la empresa, para que estos sean conocedores tanto de su puesto de trabajo como de los riesgos que esta encarna y las medidas preventivas asociadas al mismo.

- A los trabajadores se le entregan los siguientes equipos de protección individual (EPI's)

<p>Guantes de protección mecánica</p>	
<p>Guantes térmicos</p>	

<p>Guantes impermeables</p>	
<p>Gafas de protección anti-proyección</p>	
<p>Protección Auditiva (Tapones)</p>	
<p>Protección Auditiva (Orejas)</p>	

<p>Botas de seguridad</p>	
<p>Botas de agua con puntera de seguridad</p>	
<p>Botas de agua sin puntera de seguridad</p>	
<p>Gafas o máscara para soldadura</p>	

<p>Mascarilla polvo físico</p>	
<p>Mascarilla química</p>	
<p>Casco de seguridad</p>	
<p>Arnés de seguridad</p>	

Cinturón de seguridad



- Además, se informa que existe a disposición del trabajador la ficha de seguridad de los productos químicos que se emplean en la empresa.
- Igualmente, se informa que la empresa pone a disposición de los trabajadores las instrucciones de uso de las diferentes máquinas y equipos de trabajo, que han de ser consultadas previamente a su utilización.

## VII. PRESUPUESTO

Tabla 10. Presupuesto total del proyecto.

INVERSIÓN	Valor unitario	Unidades	Mantenimiento	IMPORTE
Intercambiador de calor	950.000€	1	NO	<b>950.000€</b>
Generadores fotovoltaicos	450€	8922	SI	<b>4.014.900€+500.000*= 4.514.900€</b>
Aislamientos térmicos	9.650€	1	NO	<b>9.650€</b>
Instalación de Filtros de mangas	30.000€	1	SI	<b>30.000€</b>
EDAR	1.200.000€	1	SI	<b>1.200.000€</b>
Controlador de temperatura	350€	25	NO	<b>8.750 €</b>
Controlador de nivel de esmalte	350€	2	NO	<b>700 €</b>
Infrarrojos	4.000€	1	NO	<b>4.000 €</b>
Sistema de Rayos X	47.000€	1	NO	<b>47.000 €</b>
ERP	56.000€	1	NO	<b>56.000 €</b>
PRL. Equipamiento completo.	150€	20	NO	<b>3.000 €</b>
<b>TOTAL</b>				<b>6.824.000 €</b>

*\*MO: se ha estimado el coste de mano de obra de instalación de los paneles solares en 500.000€.*

## VIII. SUBVENCIONES Y DEDUCCIONES FISCALES

### Convocatorias para obtención de subvenciones y financiación.

Todas las inversiones planteadas durante la presente memoria se han asociado a una convocatoria para conseguir su subvención o financiación y así, reducir ampliamente el coste total de los proyectos.

#### Gestión de residuos:

- EDAR
- Emisiones

<b>CDTI LIC A</b>	
<b>Objeto</b>	Financiar proyectos de industrialización (Aumento de capacidad productiva, diversificación, mejoras medioambientales, etc.)
<b>Convocatoria</b>	Abierta.
<b>Tipología de Ayuda</b>	Préstamo + Subvención
<b>Condiciones de Ayuda</b>	<p>Ayuda de hasta un 75% del presupuesto aprobado que se desglosa en;</p> <p style="padding-left: 40px;">Tramo no reembolsable (calculado sobre un máximo del 75% del presupuesto aprobado):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fondos FEDER: 10% de la ayuda</li> <li>- Fondos CDTI: 5% de la ayuda</li> </ul> <p style="padding-left: 40px;">90% en forma de préstamo interés fijo Euribor a 1 año + 0,5% a devolver en 1 año de carencia + 8 de amortización (Garantías en función del análisis de estados financieros)</p> <p>La empresa deberá aportar, al menos, el 25% de los costes elegibles bien a través de sus propios recursos, bien mediante financiación externa exenta de cualquier tipo de ayuda pública</p>
<b>Gastos Financiados</b>	Adquisición de Activos Materiales e Inmateriales
<b>Requisitos</b>	Presupuesto mínimo: 175.000 €

**TIC:**

- ERP
- Sistema de Rayos X
- Controladores y sensores

La ayuda a la que se van a presentar estas inversiones va a ser autonómica, perteneciente a la Comunidad Valenciana. Ayuda a la que solo podrán acceder empresas de dicha comunidad.

<b>IVACE. DIGITALIZACION.</b>	
<b>Objeto</b>	Subvencionar acciones que permitan la Digitalización de PYMEs. Ej; CAD, CAM, SCADA, CNC, Automatización, ERP, PLC, CRM, Big DATA, etc.) CNAEs admisibles: 10 a 43, 49 a 53, 58 a 63 y 69 a 74.
<b>Convocatoria</b>	Enero
<b>Tipología de Ayuda</b>	Subvención
<b>Condiciones de Ayuda</b>	Subvención a fondo perdido sobre el presupuesto de ejecución con las siguientes intensidades: - Pequeñas empresas: hasta el 40% - Medianas empresas: hasta el 30% Cuantía de subvención máxima: 100.000 €
<b>Gastos Financiables</b>	<u>Adquisición de Activos Inmateriales</u> ; Licencias de Software / Desarrollo de Aplicaciones a Medida / Coste por uso de aplicaciones  <u>Adquisición de Activos materiales</u> ; Inversiones en Hardware / Sensores / Automatismos / Equipos de Comunicación + Adquisición y Adaptación de bienes de equipos para la digitalización  <u>Colaboraciones</u> ; Consultoría para el diagnóstico, planificación o definición de los servicios previstos, con un coste máximo del 15% del resto de costes subvencionables, o 14.500 €
<b>Requisitos</b>	Presupuesto mínimo: 12.000 €

### Energía:

- Recuperación de calor.
- Aislamientos
- Células fotovoltaicas

Al igual que IVACE DIGITALIZACION. IVACE ENERGIA es otra ayuda autonómica a la que solo podrán acceder empresas que realicen su actividad en la Comunidad Valenciana.

<b>IVACE ENERGIA</b>	
<b>Objeto</b>	Ayudas en materia de ahorro y eficiencia energética en PYME y gran empresa del sector industrial, incluida la implantación de sistemas de gestión energética, en la Comunitat Valenciana
<b>Convocatoria</b>	Diciembre.
<b>Tipología de Ayuda</b>	Subvención
<b>Condiciones de Ayuda</b>	Subvención a fondo perdido de hasta el <b>30%</b> de la inversión elegible
<b>Gastos Financiables</b>	Adquisición de maquinaria, aparatos y equipos fijos materiales directamente Sustitución de equipos e instalaciones, así como sistemas auxiliares consumidores de energía, por otros que utilicen tecnologías de alta eficiencia energética o la mejor tecnología disponible con objeto de reducir el consumo de energía final y las emisiones de CO2 Implantación de sistemas de gestión energética
<b>Requisitos</b>	10.000 € de inversión elegible

Una vez aplicadas todas las subvenciones y deducciones fiscales la tabla final de presupuesto quedaría de la siguiente manera:

Tabla 11. Coste total del proyecto e importe de las subvenciones recibidas.

INVERSIÓN	Coste	Ayuda	Subvención	IMPORTE FINAL
Intercambiador de calor	950.000€	IVACE ENERGÍA	285.000 €	665.000 €
Generadores fotovoltaicos	4.514.900€	IVACE ENERGÍA	1.354.470 €	3.160.430 €
Aislamientos térmicos	9.650€	IVACE ENERGÍA	2.895 €	6.755 €
Filtros de mangas catalíticos	30.000€	CDTI LIC-A	22.500 €	7.500 €
EDAR	1.200.000€	CDTI LIC-A	900.000 €	300.000 €
Controlador de temperatura	8.750€	IVACE DIGITALIZA	2.625 €	6.125 €
Controlador de nivel de esmalte	700€	IVACE DIGITALIZA	210 €	490 €
Infrarrojos	4.000€	IVACE DIGITALIZA	1.200 €	2.800 €
Sistema de Rayos X	47.000€	IVACE DIGITALIZA	14.100 €	32.900 €
ERP	56.000€	IVACE DIGITALIZA	16.800 €	39.200 €
PRL. Equipamiento completo.	3.000€	-	0 €	3.000 €
<b>TOTAL</b>			<b>2.599.800 €</b>	<b>4.224.200 €</b>

Por lo tanto, y en el caso de que el 100% de los costes sean subvencionables, el coste total de las inversiones resultaría a la empresa **4.224.200€**.

## A. ANEXO I

A continuación, se presentan las tablas correspondientes a medidas realizadas sobre 2 tipos de tierras distintas; una de ellas blanca y otra coloreada. Aquí, se pueden observar los índices de contracción y absorción de agua de cada una de ellas:

### Formulación 1. Tierra blanca.

Tabla 12. Índice de contracción y absorción, formulación tierra blanca 1.

<b>Contracción</b>				
	<b>Ancho CRUDO</b>	<b>Ancho COCIDO</b>	<b>% Contracción</b>	<b>%A</b>
A inicial	1776	1658	6,64%	<b>6,66%</b>
A centro	1776	1657	6,70%	
A final	1776	1658	6,64%	
	<b>Largo CRUDO</b>	<b>Largo COCIDO</b>	<b>% Contracción</b>	<b>%L</b>
L inicial	3511	3275	6,72%	<b>6,66%</b>
L centro	3511	3281	6,55%	
L final	3511	3275	6,72%	

<b>Absorción agua</b>				
		<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>	<b>% Absorción</b>
1	Ca	1243,98	1244,01	0,00%
2		1706,86	1707,14	0,02%
3		1550,86	1551	0,01%
4		1016,66	1016,82	0,02%
5		892,37	892,61	0,03%
1	Ce	2189,26	2189,58	0,01%
2		2891,48	2891,76	0,01%
3		1318,93	1319,1	0,01%
4		2058,61	2058,85	0,01%
5		1530	1530,18	0,01%
1	Co	934,49	934,54	0,01%
2		1906,45	1906,64	0,01%
3		1889,22	1889,41	0,01%
4		1803,58	1803,75	0,01%
5		935,72	935,93	0,02%

<b>%Ca</b>	0,014%
<b>%Ce</b>	0,012%
<b>%Co</b>	0,011%

<b>Prom (%) AA</b>	<b>0,01%</b>
--------------------	--------------

## Formulación 2. Tierra coloreada.

Tabla 13 Índice de contracción y absorción, formulación tierra coloreada 4.

### Contracción

	Ancho CRUDO	Ancho COCIDO	% Contracción	%A
A inicial	1775	1642	7,49%	<b>7,49%</b>
A centro	1775	1642	7,49%	
A final	1775	1642	7,49%	

	Largo CRUDO	Ancho COCIDO	% Contracción	%L
L inicial	3504	3286	6,22%	<b>6,22%</b>
L centro	3504	3286	6,22%	
L final	3504	3286	6,22%	

### Absorción agua

		Seco	Húmedo	% Absorción
1	Ca	3865,42	3867,16	0,04%
2		4068,01	4069,61	0,04%
3		3900,22	3901,88	0,04%
4		4030,63	4032,2	0,04%
5		4092,18	4093,9	0,04%
1	Ce	3914,04	3915,62	0,04%

%Ca	0,042%
%Ce	0,040%

<b>Prom. (%) AA</b>	<b>0,04%</b>
---------------------	--------------

## Intercambiador de calor

Tabla 14. Datos de los ventiladores de aire en el secadero en función del diámetro.

		Diámetro $\Phi$ (en mm)			
		1300	1400	1500	1600
Reverso	Rango de flujo de aire (000, m <sup>3</sup> /h)	28,2-43,0	31,5-45,4	33,9-46,3	33,1-47,8
	Presión estática (mbar)	1,5-1,65	1,5-1,65	1,5-1,65	1,5-1,65
	Presión total (mbar)	1,71-2,05	1,72-1,99	1,7-1,92	1,64-1,87
No reverso	Rango de flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	32,9-46,6	37,3-52	38,4-57,8	39,4-57,7
	Presión estática (mbar)	1,8-1,95	1,8-2	1,8-2	1,8-2
	Presión total (mbar)	2,13-2,5	2,14-2,4	2,06-2,41	2,01-2,31
Motor (Kw)		4/5,5			
Vueltas (RPM)		715			
Aspas (no)		06/08/2010			
Opciones		Reverso o no reverso			
Material de aspa		Poliamida de vidrio reforzada			
Material de eje		Aluminio			
Temperatura de operación máx (°C)		12			

Para obtener el calor específico del aire se ha utilizado la tabla de propiedades de este a 1 atmósfera de presión (al ser captado del ambiente). Se han escogido las propiedades a 80°C, ya que es la temperatura media del fluido durante el proceso de intercambio.

Tabla 15. Tablas de propiedades del aire a 1 atm.

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico $c_p$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para gases ideales,  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\nu$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de  $\nu$  a la temperatura dada por  $P$  (en atm) y cuando se dividen  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$  (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

# Aleación 316Ti



## INFORMACIÓN GENERAL

316Ti es un acero inoxidable austenítico estabilizado con titanio. Las aleaciones 316 son más resistentes a la corrosión por picaduras/hendiduras y corrosión en general que los aceros inoxidables convencionales (304) de cromo-níquel. También ofrecen una mayor resistencia a la tracción, la fluencia, y rotura por tensión en temperaturas elevadas. El acero inoxidable 316 puede ser susceptible a la sensibilización, la cual puede resultar en una corrosión rápida. Se logra la resistencia a la sensibilización en la aleación 316 mediante adiciones de titanio para estabilizar la estructura contra la precipitación de carburo de cromo, lo que es la fuente de la sensibilización. Esta estabilización se consigue mediante un tratamiento térmico a temperaturas intermedias, durante el cual el titanio reacciona con el carbono para formar carburos de titanio. Esto reduce significativamente la susceptibilidad a la sensibilización. De este modo, esta aleación se puede utilizar por periodos extendidos en temperaturas elevadas sin comprometer su resistencia a la corrosión. Al igual que los tipos 316 y 316L, la aleación 316Ti también ofrece una excelente resistencia a la corrosión general y corrosión por picaduras.

## ESTÁNDARES

UNS S31635 / W.N. 1.4571 / DIN X6CrNiMoTi 17 12 2

## APLICACIONES

Inicialmente desarrollado para uso en papeleras, el acero inoxidable 316Ti se suele usar en:

- Equipos de cervecería
- Equipos para la preparación de alimentos
- Equipos para productos químicos y petroquímicos
- Equipos y bancos para laboratorios
- Paneles arquitectónicos en zonas costales
- Accesorios de barcos
- Contenedores para el transporte de químicos
- Intercambiadores de calor
- Pantallas de minería
- Tuercas y pernos
- Resortes
- Implantes médicos

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Porcentaje por Peso	
C	0,08
Cr	18,0
Mo	3,0
Si	0,75
P	0,05
S	0,03
Ni	14,0
Ti	0,7
Fe	BALANCE

## RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y OXIDACIÓN

### Corrosión General

Los grados de acero inoxidable que contienen molibdeno, tales como la 316 y 316Ti son más resistentes a la corrosión atmosférica y otros tipos de corrosión leves que los aceros inoxidables 18Cr-8Ni. Por lo general elementos que no corroen los aceros 18-8 no atacarán a los grados que contienen molibdeno. Una excepción conocida son los ácidos altamente oxidantes, tales como el ácido nítrico a lo que los aceros inoxidables que contienen molibdeno son menos resistentes. Las aleaciones 316 y 316Ti son bastante más resistentes a las soluciones de ácido sulfúrico que cualquier otra aleación de cromo-níquel. Cuando la condensación de gases que contienen azufre se produce, estas aleaciones no son mucho más resistentes que otros tipos de aceros inoxidables. En soluciones de ácido sulfúrico, la concentración de ácido tiene una fuerte influencia sobre la velocidad de corrosión.

### Corrosión de Picaduras

La resistencia de los aceros inoxidables austeníticos a la corrosión por picaduras en la presencia de cloruro u otros iones haluros se ve reforzado por contenidos más altos de cromo y molibdeno. El Equivalente de Resistencia a Picaduras (PRE) de la aleación 316Ti (23.0) es mayor que la de la aleación 304 (19.0), lo cual refleja la mejor resistencia a picaduras que ofrece la 316Ti debido a su contenido de molibdeno. La 316Ti tolera aguas con un máximo de 2000 ppm de cloruro. No se recomienda esta aleación para el uso en agua salada (~19.000 ppm cloruro). La aleación 316Ti se considera adecuada para algunas aplicaciones expuestas a niebla salina. La 316Ti no exhibe prueba de corrosión en prueba de niebla salina 5% (ASTM B117) de 100 horas. La 316Ti se considera adecuada para algunas aplicaciones con exposición a brisas marinas.

### Corrosión Intergranular

El acero inoxidable 316 es susceptible a la precipitación de carburos de cromo en los límites del grano cuando se expone a temperaturas dentro del rango de 800°F a 1500°F (425°C a 815°C). Tales aceros "sensibilizados" están sujetos a la corrosión intergranular cuando se exponen a ambientes agresivos. Tratamientos para el alivio de tensión que caen dentro de estos límites se pueden utilizar sin afectar la resistencia a la corrosión del metal. La 316Ti posee las mismas propiedades mecánicas que el correspondiente 316 de mayor contenido de carbono, y ofrece resistencia a la corrosión intergranular. El calentamiento de corta duración que se genera con la soldadura no produce susceptibilidad a la corrosión intergranular, sin embargo, la exposición a temperaturas entre 800-1200°F (422-650°C) puede producir la sensibilización en el acero inoxidable 316Ti.

Las influencias combinadas del molibdeno y titanio reducen la resistencia de la 316Ti en ambientes altamente oxidantes, incluyendo el ambiente de ácido nítrico que se encuentra en la prueba Huey C ASTM A 262 y el ambiente de sulfato férrico de la prueba Streicher. Sin embargo, en la prueba Práctica F ASTM A 262, la 316Ti demuestra resistencia a la sensibilización en el ambiente de 50% ácido sulfúrico.

# Aleación 316Ti

## Agrietamiento por Corrosión Bajo Presión

Los aceros inoxidable austeníticos son susceptibles a la corrosión bajo tensión (SCC) en ambientes de halogenuros. Aunque las aleaciones 316, 316L, y 316Ti son más resistentes que las aleaciones 18-8, igual demuestran una susceptibilidad. Las condiciones que producen la corrosión bajo tensión son:

- 1.- La presencia de iones haluro (generalmente cloruro)
- 2.- Temperaturas en exceso de aproximadamente 140°F (60°C).

Esta tensión es resultado de la deformación en frío o ciclos térmicos durante la soldadura. El recocido o tratamientos para el alivio de tensión pueden ser eficaces en la reducción de tensión presente.

## Resistencia a la Oxidación

La aleación 316Ti presenta una excelente Resistencia a la oxidación y una baja tasa de formación de escama en atmósferas de aire en temperaturas hasta 1600-1650°F (870-900°C). El rendimiento de la 316Ti es ligeramente inferior a la del acero inoxidable 304, lo cual contiene un contenido superior de cromo (18% frente al 16% del 316Ti). La tasa de oxidación se influye mucho por la atmósfera y condiciones en que se utilizan los aceros. Por esta razón, no se puede presentar datos que se aplican a todas las condiciones de servicio. Al igual que otras aleaciones con contenido de molibdeno, la aleación 316Ti es sujeta a oxidación catastrófica en altas temperaturas en atmósferas de aire estancado, como en el tratamiento térmico de elementos estrechamente empaquetados. Esto ocurre debido a la formación de trióxido de molibdeno de baja fusión (MoO<sub>3</sub>), lo cual reacciona con la aleación causando una pérdida profunda de metal. Cuando el aire circula bien, el MoO<sub>3</sub> se evaporará de la superficie del metal y se evita la oxidación excesiva.

## PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad en Tensión	193 GPa
Densidad	0,287 lb/in <sup>3</sup> 8.000 kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico a 20°C	500 Joules/kg/°K
Resistividad Eléctrica	0,074 x 10 <sup>-4</sup> Ω.m
Punto de Fusión	1.400°C
Conductividad Térmica	16.3 W/m.K

## Coefficiente Linear de Expansión Térmica

Rango de Temperatura			
°F	°C	in/in/°F	cm/cm/°C
68 - 212	20 - 100	9,2	16,5
68 - 932	20 - 500	10,1	18,2
68 - 1.832	20 - 1.000	10,8	19,5

La aleación 316Ti es un acero inoxidable austenítico de una fase en todas las temperaturas, hasta su punto de (2450 - 2630 °F, 1345 - 1440 °C). Esta

aleación no se puede endurecer por tratamiento térmico, y en su estado recocido no magnético. Su permeabilidad magnética es típicamente menor que 1,02 a 200 H (Oersteds). Los valores de permeabilidad para el material deformado en frío variarán con la composición y la cantidad de deformación en frío, pero tienden a ser mayores que los del material recocido.

## PROPIEDADES MECÁNICAS

### Propiedades Mecánicas a Temperaturas Ambiente

Propiedad	Valor Típico	ASTM 240
Límite Elástico, 0,2% Desplazamiento	36 ksi 248 MPa	30* 205*
Resistencia a la Tracción,	90 ksi 620 MPa	75* 515*
Porcentaje de Elongación en 2in o 51mm	54.0	40.0
Dureza	76 HRB	217 Brinell** 95 HRB**

\*Mínimo, \*\*Máximo

### Propiedades en Temperaturas Elevadas

Temperatura	0,2% Límite Elástico		Resistencia a la Tracción		Elongación Porcentaje en 2" o 51mm	
	°F	°C	Ksi	(mpa)		
200	93	30,2	208	75,2	518	39,5
400	204	26,0	179	66,0	455	28,0
600	316	23,1	159	64,2	443	26,0
800	427	21,2	146	62,7	433	25,0
1.000	538	21,0	145	61,3	423	23,0
1.200	649	21,1	146	54,4	375	19,5
1.400	760	21,1	146	37,9	261	23,0
1.600	871	16,2	112	22,5	155	48,0
1.800	982	8,0	55	11,3	78	41,0

## Resistencia a la Fatiga

Resistencia a la fatiga es el límite máximo por debajo de lo cual es poco probable de que el material fallará en 10 millones de ciclos en el entorno de aire. La resistencia a la fatiga de los aceros inoxidable austeníticos se encuentra típicamente alrededor del 35 por ciento de la resistencia a la tracción. Una mayor suavidad de la superficie mejora la fuerza y el aumento de la corrosividad de un entorno disminuye la fuerza.

# Aleación 316Ti

## PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

### Fabricación

Los aceros inoxidable, incluyendo a las aleaciones 316 y 317L, suelen a ser formadas en estructuras complejas. Estas aleaciones se perforan y se forman en esencialmente los mismos equipos que se utilizan para el acero carbono. La ductilidad excelente de las aleaciones austeníticas les permite ser fácilmente formados por flexión, estiramiento y embutición profunda. Sin embargo, debido a su gran fuerza y dureza, se requiere maquinas de formación bastante más fuertes que para aceros al carbono. La atención a la lubricación durante la formación de las aleaciones austeníticas es esencial para acomodar la alta resistencia de estas aleaciones.

### Recocido

Los aceros inoxidable austeníticos se proporcionan en la condición recocida y lista para su uso. El tratamiento térmico puede ser necesario durante o después de la fabricación para eliminar los efectos de la conformación en frío o para disolver los carburos de cromo precipitados que resultan de la exposición térmica. Para el 316Ti, la solución de recocido se efectúa por el calentamiento en el rango de 1900-2150°F (1040-1175°C) seguido por el enfriamiento al aire o un enfriamiento en agua, va depender del grosor de la sección. Para la máxima resistencia a la sensibilización, la aleación 316Ti se debe dar un tratamiento térmico estabilizante a 1550-1650°F (845-900°C) para precipitar los carburos de titanio y prevenir la precipitación de carburos de cromo durante la exposición a temperaturas bajas.

### Soldadura

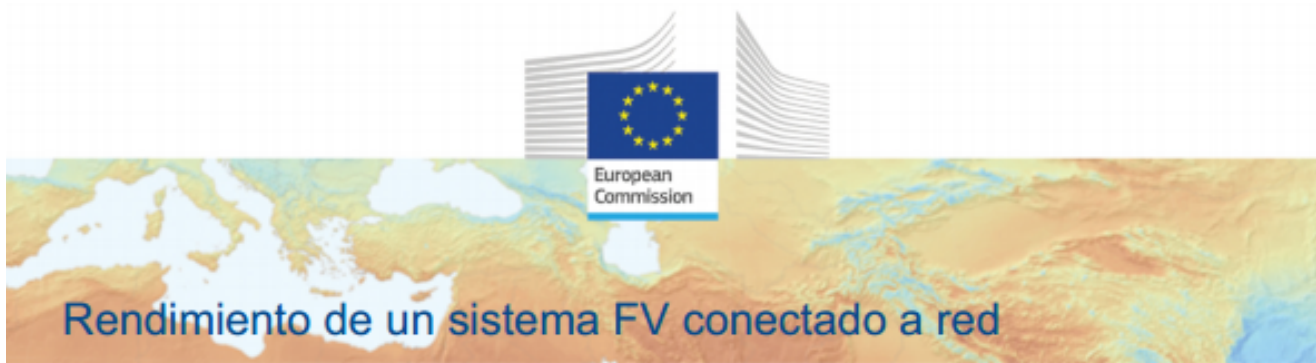
Los aceros inoxidable austeníticos se consideran generalmente lo más soldables de los aceros inoxidable, se pueden soldar utilizando todos los procesos comunes. Dos consideraciones importantes para las juntas de soldadura en estas aleaciones son (1) la evitación del agrietamiento a solidificar, y (2) La preservación de la resistencia a la corrosión de la soldadura y zonas afectadas por el calor. La 316Ti se suele soldar de manera autógena. Si el relleno es necesario se aconseja utilizar aceros de bajo carbono como el 316L o E318. La contaminación de la zona de soldadura con cobre o zinc se debe evitar, ya que esos elementos pueden formar compuestos de bajo punto de fusión que a su vez pueden crear grietas en la soldadura.

Aceros inoxidable estabilizados como la 316Ti pueden ser atacados por la corrosión intergranular bajo ciertas condiciones especiales después de la soldadura. El ataque knifeline se manifiesta como una banda muy estrecha de corrosión adyacente a la soldadura. Esto ocurre cuando el metal adyacente a la soldadura se calienta a una temperatura elevada (superior a 2100°F) de manera que los carburos de titanio se disuelven, y luego se exponen a temperaturas de sensibilización (800-1500°F, 425-815°C). A estas temperaturas, la velocidad de la formación de carburos de titanio es lenta y el carbono libre reacciona con el cromo para formar límite de grano en la zona afectada por el calor.

CHILEXPO SPA no garantiza la exactitud de la información contenida en este documento y recomienda que los usuarios investiguen en profundidad aspectos técnicos y especificaciones antes de realizar una compra. Esta información técnica ha sido recopilada de diversas fuentes en línea, incluyendo ATI®, SSC®, y Outokumpu® entre otras. Esta ficha técnica ha sido proporcionada solo para fines informativos y no ha sido verificada de forma independiente por CHILEXPO SPA.

## Generadores fotovoltaicos

- Resultados de la simulación de células fotovoltaicas



PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

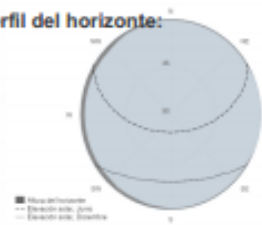
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 39.967, -0.227  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-SARAH  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 3658.17 kWp  
 Pérdidas sistema: 14 %

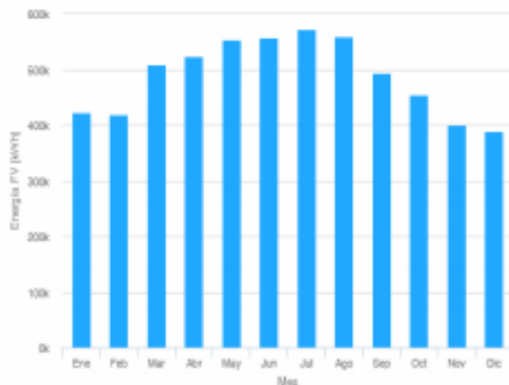
Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 37 (opt) °  
 Ángulo de azimut: -2 (opt) °  
 Producción anual FV: 5851621.91 kWh  
 Irradiación anual: 2045.74 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 126464.01 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -2.56 %  
 Efectos espectrales: 0.69 %  
 Temperatura y baja irradiancia: -7.32 %  
 Pérdidas totales: -21.81 %

Perfil del horizonte:



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	422290.439.3	61056.2	
Febrero	419110.140.2	56931.8	
Marzo	508125.973.9	54960.0	
Abril	522915.882.2	45221.6	
Mayo	553491.196.5	38239.4	
Junio	557750.202.4	20587.8	
Julio	571361.809.4	33910.3	
Agosto	558716.802.8	36703.4	
Septiembre	493660.976.8	37463.6	
Octubre	454960.359.0	48630.7	
Noviembre	400348.834.9	60649.0	
Diciembre	388890.828.3	28888.3	

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].

H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m<sup>2</sup>].

SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

## B. BIBLIOGRAFÍA

### Referencias Bibliográficas

- autoconsumo, K. y. (31 de Diciembre de 2017). *mi kitsolar*. Obtenido de mi kitsolar:  
<https://www.mikitsolar.es/blog/kwh-y-kwp-las-dos-unidades-de-medicion-del-autoconsumo-n211>
- Badea, G. (2017). *Diseño de una EDAR para el tratamiento de aguas residuales de la industria cerámica para su reutilización en una planta de fabricación de polvo atomizado*. Castellón: UJI.
- calor, I. d. (1 de Septiembre de 2019). *sifo.comillas.edu*. Obtenido de ICAI :  
<https://sifo.comillas.edu/course/view.php?id=25899#section-5>
- Cerámica, M. (1 de Enero de 2021). *Maquinaria Cerámica*. Obtenido de Sem:  
<https://www.semsl.es>
- Díaz, Ó. M. (Marzo de 2008). DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS y CARCASA (1-2) PARA UNA PLANTA QUÍMICA ASOCIADA A UNA FUNDICIÓN PIROMETALÚRGICA. Madrid, Madrid, España.
- Emison. (s.f.). *Emision*. Obtenido de Emison:  
<https://www.emison.es/medioambiente/pdf/humos/filtro%20de%20mangas.pdf>
- Gasch, J. G. (2006). *CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA. EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS*. Castellón : Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas Universitat Jaume I. Castellón. España.
- HUB, E. S. (24 de Marzo de 2021). *European Comission* . Obtenido de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- Martínez, R. C. (Junio de 2011). *GUIA PARA SELECCIONAR INTERCAMBIADORES DE CALOR*. San Luís de Potosí, San Luís de Potosí, México.
- policristalinos, P. m. (6 de Noviembre de 2020). *Sotysolar*. Obtenido de Sotysolar:  
<https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>
- residuos, G. d. (s.f.). *Gestores de residuos*. Obtenido de Gestores de residuos en España y mucho más: [http://www.gestoresresiduos.es/codigos\\_1er.html](http://www.gestoresresiduos.es/codigos_1er.html)
- SAP. (2021). *SAP Business One*. Obtenido de SAP Business One :  
<https://www.sap.com/spain/products/business-one.html>
- SITRA. (2021). *WIM by SITRA*. Obtenido de WIM by SITRA:  
<https://www.wimbysitra.com/>
- Solvair. (2021). *Solvair Solutions*. Obtenido de Solvair Solutions:  
<https://www.solvairsolutions.com/es>

- temperatura, A. d. (1 de Enero de 2021). *Vitcas*. Obtenido de Vitcas:  
<https://www.vitcas.es/aislamiento-de-alta-temperatura#:~:text=Las%20substancias%20alternativas%20usadas%20para,comúnmente%20como%20aislamiento%20de%20apoyo>
- Valeria Ibáñez-Forés, A. G.-P. (2011). *Caracterización de residuos sólidos en la industria cerámica y su relación con las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs)*. Castellón: UJI.
- Viveros, E. B. (25 de Enero de 2007). DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA OPTIMIZACION DE UN HORNO DE CUBILOTE. Santiago de Cali, Cali, Colombia. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/7567/T05569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>