

MÓNICA MATILLA CALVO



Trabajo Fin de Grado

**RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL
PROCEDENTE DEL HORNO DE TRATAMIENTO
TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE
BARNIZADO.**

Residual heat thermal recovery from the heat treatment
furnace to use it for the paint dryer.

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos.

**Autora: Mónica Matilla Calvo
Director: Juan Carcedo Haya
Convocatoria: septiembre 2024**

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.	10
2.1.	ALCANCE	10
2.2.	OBJETIVOS.	10
2.2.1.	Objetivos del trabajo.....	10
2.2.1.1.	<i>Estudio de viabilidad de los posibles proyectos de eficiencia energética.</i> 10	
2.2.1.2.	Descripción y explicación de la instalación y el funcionamiento de esta. 10	
2.2.1.3.	Presupuesto y ahorro económico.....	10
2.2.2.	Objetivo del proyecto.....	11
3.	ESTADO DEL ARTE.	12
3.1.	MARCO LEGISLATIVO.....	12
3.1.1.	Legislación vigente a nivel europeo.	12
3.1.2.	Legislación vigente a nivel Nacional.....	12
3.1.1.1.	Concepto, principales características y funcionamiento.....	14
3.1.1.2.	El comercio de derechos de emisión en la Unión Europea y en España. 15	
3.2.	CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE GEI.....	15
3.2.1.	Indicadores de consumo energético y emisiones de GEI a nivel nacional. 16	
3.2.2.	Indicadores de consumo energético y emisiones de GEI a nivel nacional. Sector industrial.....	18
3.3.	CONCEPTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.	19
3.3.1.	Origen de la eficiencia energética.....	19
3.3.2.	Eficiencia energética en el ámbito industrial.....	20
3.3.2.1.	Beneficios de la eficiencia energética en el ámbito industrial.	20
3.4.	GESTIÓN DEL CALOR RESIDUAL EN LA INDUSTRIA.....	21
3.4.1.	Principales tecnologías de gestión del calor residual en la industria. ...	21
3.4.1.1.	Cogeneración.	21
3.4.1.1.1.	Concepto y definición de la tecnología.....	21
3.4.1.1.2.	Tipos de cogeneración	22
3.4.1.2.	Aislamiento térmico.....	23

MÓNICA MATILLA CALVO

3.4.1.2.1. Concepto y definición de la tecnología.....	23
3.4.1.2.2. Principales beneficios	24
3.4.1.3. Ciclo de Rankine Orgánico (ORC) para producción eléctrica.....	25
3.4.1.4. Pre calentadores de aire	26
3.4.1.5. Bombas de calor	27
4. ANÁLISIS Y VIABILIDAD DE LOS PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA FÁBRICA SAINT-GOBAIN PAM SANTANDER.	31
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	31
4.2. MARCO ESTRATÉGICO DEL GRUPO SAINT - GOBAIN.	36
4.3. PROYECTOS PROPUESTOS.	37
4.3.1. Proyecto 1: Automatización del calentamiento de las cucharas de desulfuración.	37
4.3.1.1. Datos característicos del proyecto 1.	37
4.3.2. Proyecto 2: Recuperación térmica de los hornos de tratamiento térmico para su uso en las estufas de barnizado.	37
4.3.2.1. Datos característicos del proyecto 2.	38
4.3.3. Proyecto 3: Mejora del aislamiento del horno de tratamiento térmico.	38
4.3.3.1. Datos característicos del proyecto 3.	38
4.3.4. Proyecto 4: Recuperación térmica del circuito de disipación de humos del horno del cubilote para generación eléctrica mediante un ciclo ORC.	38
4.3.4.1. Datos característicos del proyecto 4.	38
4.3.5. Proyecto 5: Cambio de refractario de la cámara de combustión del cubilote.	39
4.3.5.1. Datos característicos del proyecto 5.	39
4.4. MATRIZ DE DECISIÓN.....	39
4.5. MATRIZ DE DECISIÓN.....	39
4.5.1. Factores de ponderación.....	39
4.5.1.1. Factores de ponderación del ahorro en el consumo de gas.	39
4.5.1.2. Factores de ponderación del retorno de inversión (en años).	40
4.5.1.3. Factores de ponderación de la inversión inicial.	40
4.5.2. Matriz de decisión.....	40
4.5.3. Decisión final.	41
5. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PREVIA AL PROYECTO.	42
5.1. HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO	42

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

5.1.1.	Descripción general.....	42
5.1.2.	Descripción del proceso de convección forzada de la zona 3 del horno de tratamiento térmico.	43
5.2.	ESTUFAS DE BARNIZADO.	45
5.2.1.	Características y funcionamiento de la estufa.....	45
5.2.2.	Consumo de gas de la estufa de barnizado.	48
6.	PROYECTO E INSTALACIÓN.	49
6.1.	PROPUESTA TÉCNICA.....	49
6.2.	INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.	52
6.2.1.	Sistemas de seguridad.....	58
6.2.1.1.	Pirostatos de aire	58
6.2.1.2.	Parada de emergencia	58
6.2.2.	Condiciones de habilitación del sistema	59
6.2.3.	Condiciones de des habilitación del sistema	59
7.	PRESUPUESTO.....	60
7.1.	INVERSIÓN INICIAL.	60
7.2.	MANTENIMIENTO ANUAL.	64
8.	CÁLCULOS Y RETORNO DE INVERSIÓN.	65
8.1.	SITUACIÓN PREVIA AL PROYECTO.	65
8.1.1.	Importe anual del consumo de gas.....	65
8.1.2.	Importe anual de las emisiones de CO ₂	65
8.1.3.	Importe anual total.	67
8.2.	SITUACIÓN POSTERIOR AL PROYECTO.	67
8.2.1.	Importe anual del consumo de gas.....	67
8.2.2.	Importe anual de las emisiones de CO ₂	68
8.2.3.	Importe anual total.	68
8.2.3.1.	Importe anual total sin garantía y mantenimiento.	68
8.2.3.2.	Importe anual con garantía y mantenimiento.....	69
8.3.	AHORRO ANUAL.	69
8.4.	RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	69
-	Ahorro anual (€): 87.521,154€/año	70
	Por lo tanto, el retorno de inversión del proyecto es de 1,3 años.	70
9.	CONSIDERACIONES FINALES.	71

10. BIBLIOGRAFÍA..... 72

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del consumo energético en España por sector en Mtep desde el año 2002 hasta el año 2021.	16
Figura 2: División del consumo de energía por sectores del año 2021.	17
Figura 3: Distribución de emisiones brutas de GEI en 2021 por sector.	17
Figura 4: Evolución del consumo energético de la industria por fuentes energéticas desde el año 2000 hasta el año 2021.	18
Figura 5: Matriz de decisión de los proyectos de eficiencia energética de la fábrica de Santander de la entidad Saint-Gobain PAM España.	41
Figura 6: Variación de la temperatura interior del horno de tratamiento térmico.	42
Figura 7: Gráfica mensual del consumo de gas de la estufa de barnizado.	48
Figura 8: Gráfica diaria del consumo de gas de la estufa de barnizado.	48
Figura 9: Tabla de los factores de emisión de CO ₂ y poderes caloríficos por defecto para la combustión estacionaria por tipo de combustible utilizados en la edición 2024 del Inventario Nacional.	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Marco 2030 de energía y clima de la Unión Europea y de España.....	14
Ilustración 2 2: Esquema de un sistema de cogeneración industrial.....	22
Ilustración 3: Función del aislamiento térmico.....	24
Ilustración 4: Beneficios del aislamiento térmico.....	25
Ilustración 5: Esquema de un ciclo orgánico de Rankine.....	26
Ilustración 6: Esquema del funcionamiento de un precalentador de aire.	27
Ilustración 7: Componentes principales de una bomba de calor industrial.	28
Ilustración 8: Principio de funcionamiento de una bomba de calor.....	29
Ilustración 9: Fábrica de Santander - Saint-Gobain PAM España	31
Ilustración 10: Proceso de centrifugación.....	33
Ilustración 11: Horno de tratamiento térmico.....	33
Ilustración 12: Estructura exterior final de la tubería.	35
Ilustración 13: Proceso de fabricación	35
Ilustración 14: Colector primario.	43
Ilustración 15: Válvula de presión.....	43
Ilustración 16: División del colector primario en tubos.....	44
Ilustración 17: Colector de salida y foco 26.	44
Ilustración 18: Parte interior de la estufa de barnizado.	45
Ilustración 19: Sondas de temperatura.....	46
Ilustración 20: Pantalla informativa y de consiga de temperatura.....	46
Ilustración 21: Esquema de la instalación y el funcionamiento de la estufa de barnizado en situación previa al proyecto.	47
Ilustración 22: Recirculación teórica del calor residual del horno de TTO térmico a la estufa de barnizado.....	49
Ilustración 23: Recirculación real del calor residual del horno de TTO térmico a la estufa de barnizado.....	50
Ilustración 24: Esquema de la instalación y su funcionamiento (COMPLETO).	51
Ilustración 25: Picaje del foco 26.	52
Ilustración 26: Ventilador de trasiego.....	53
Ilustración 27: Captación de aire exterior para bajar el nivel térmico del aire caliente.	54

**RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO
TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO**

Ilustración 28: Esquema de la instalación y su funcionamiento (PARTE 1).....	55
Ilustración 29: División de la tubería y entrada en las UTAs.....	56
Ilustración 30: Esquema de la instalación y su funcionamiento (PARTE 2).....	57
Ilustración 31: Válvula eléctrica automática capaz de regular la apertura de las compuertas.	57

1. INTRODUCCIÓN.

La necesidad de recuperar y reutilizar la energía generada dentro de los procesos productivos, y más concretamente dentro del sector industrial, crece a medida que la legislación vigente establece objetivos cada vez más ambiciosos y cercanos relacionados con la transición energética hacia la sostenibilidad, la eficiencia energética, el cambio climático y la completa descarbonización, a la cual, la Unión Europea espera llegar en el año 2050.

Como consecuencia, el concepto de eficiencia energética y las tecnologías de recuperación, recirculación y ahorro de energía desarrolladas a raíz del mismo, toman cada vez más importancia y se encuentran cada vez más presentes en la mayoría de los sectores y más concretamente, en el ámbito industrial, un sector, que, históricamente, ha nacido, ha evolucionado y ha perdurado en el tiempo a través de el uso de combustibles fósiles como medio de aporte energético, como pueden ser por ejemplo el carbón, el petróleo o el gas natural, cuyo uso conforma gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero que se pretenden erradicar.

En consonancia con la legislación actual, la mayoría de las industrias, ya sean de grande, mediana o pequeña envergadura, se están comprometiendo a reducir y/o a eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero que emiten a la atmósfera que provienen de sus procesos productivos. En la mayoría de los casos este proceso de transición energética viene del mano del desarrollo y la elaboración de proyectos de eficiencia energética que son capaces de reducir estas emisiones mencionadas a la vez que optimizan el coste del proceso productivo en materia de ahorro energético y benefician la imagen medioambiental de la entidad que los ejecuta.

En este trabajo se pretende desarrollar la memoria de un proyecto de eficiencia energética para la fábrica de Santander perteneciente a la entidad Saint-Gobain PAM España, que consiste en la recuperación de calor residual procedente de una de sus instalaciones, para su uso posterior en otro paso intrínseco del proceso de fabricación, con el fin de sustituir la metodología actual de aporte de calor empleada, la cual genera emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

2. ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.

2.1. ALCANCE

Mediante el presente trabajo se presenta un estudio de viabilidad de implantación de diferentes procesos de eficiencia energética a lo largo del proceso productivo que se lleva a cabo en la fábrica de Santander de Saint-Gobain PAM España, que permite seleccionar el óptimo y el más adecuado a desarrollar, teniendo en cuenta la reducción de las emisiones de la instalación a la que afecte, el retorno de inversión y la inversión inicial.

Una vez elegido el proyecto, se define y se explica la situación tanto anterior, como posterior de funcionamiento y las principales características de las instalaciones que se verán afectadas una vez se ejecute la instalación, el presupuesto del proyecto y el ahorro económico en materia emisiones de GEI.

2.2. OBJETIVOS.

2.2.1. Objetivos del trabajo.

2.2.1.1. *Estudio de viabilidad de los posibles proyectos de eficiencia energética.*

- Concepto y parámetros característicos de los proyectos.
- Matriz de decisión.

2.2.1.2. *Descripción y explicación de la instalación y el funcionamiento de esta.*

- Situación previa a la implementación del proyecto.
- Situación posterior a la implementación del proyecto.

2.2.1.3. *Presupuesto y ahorro económico*

- Establecer el presupuesto total del diseño, la instalación y la puesta en marcha (inversión inicial), así como definir el montante correspondiente al mantenimiento anual y a la garantía de los equipos que conforman la instalación.
- Calcular el ahorro económico y el retorno de inversión en materia de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.2.2. Objetivo del proyecto.

El objetivo principal del proyecto es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en este caso, de gas natural, que se generan debido al aporte actual de calor a la estufa de barnizado a través de la recuperación térmica de calor residual procedente de un horno de tratamiento térmico cercano a la instalación de la estufa.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

3. ESTADO DEL ARTE.

3.1. MARCO LEGISLATIVO.

3.1.1. Legislación vigente a nivel europeo.

Para el periodo comprendido entre los años 2013 y 2020, el paquete europeo de Energía y cambio climático estableció objetivos concretos a alcanzar en el año 2020 en materia de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En concreto, las emisiones del conjunto de la Unión Europea debían reducirse en un 20% respecto a los niveles del año 1990 de la siguiente manera:

- Las emisiones de CO₂ de los sectores más intensivos en el uso de la energía (generación, refino, siderurgia...) que se encontrasen bajo el comercio europeo de derechos de emisión, debían lograr en 2020 una reducción de sus emisiones del 21% respecto a sus niveles del año 2005. Este objetivo era global a nivel europeo.
- Las emisiones restantes, provenientes de sectores excluidos del ámbito del comercio de emisiones, debían reducirse en un 10%, respecto a los niveles del año 2005. En este caso, el esfuerzo necesario para conseguir esta reducción se repartió entre los distintos estados miembros de la Unión Europea.

A partir de 2021 y hasta el año 2030, como año límite, la Unión Europea ha asumido un objetivo de, al menos, una disminución del 55% de emisiones netas de gases de efecto invernadero (emisiones una vez deducidas las absorciones) en comparación con 1990, de la siguiente manera:

- Los sectores sujetos al comercio de derechos de emisión y el sector marítimo deben reducir sus emisiones de GEI un 62% respecto a sus niveles del año 2005.
- Los sectores restantes, asumen una reducción a nivel europeo del 40% respecto a los niveles de 2005. Al igual que para el objetivo de 2020, el esfuerzo necesario para conseguir esta reducción se reparte entre los estados miembros de la Unión Europea.

La contribución de las absorciones netas a este objetivo se limitará a 225 millones de toneladas equivalentes de CO₂.

Además, la ley del clima europea crea en el año 2021 el marco jurídico para alcanzar la neutralidad climática de la unión europea en 2050.

3.1.2. Legislación vigente a nivel Nacional.

España ha adquirido el compromiso de limitar y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero tanto en el ámbito de la convención Macro de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, su Protocolo Kioto y el Acuerdo de París, así como en el ámbito de la Unión Europea. Alguno de estos objetivos los ha asumido de manera conjunta junto con los 26 estado miembros, mientras que otros se definen de

MÓNICA MATILLA CALVO

manera individualizada. En paralelo, España se ha marcado objetivos de reducción a través de la ley 7/2021, del 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Para el periodo comprendido entre el año 2008 y 2012 (primer periodo de compromiso del protocolo Kioto), España debía limitar el incremento de sus emisiones de gases de efecto invernadero de manera que la media de emisiones netas no superase el 15% del nivel de emisiones del año base (1990/1995).

Durante los años 2013 y 2020 la situación nacional se rigió por lo establecido a nivel europeo:

- Las emisiones de CO₂ de los sectores más intensivos en el uso de la energía (generación, refino, siderurgia...) que se encontrasen bajo el comercio europeo de derechos de emisión, debían lograr en 2020 una reducción de sus emisiones del 21% respecto a sus niveles del año 2005.
- Las emisiones restantes, provenientes de sectores excluidos del ámbito del comercio de emisiones, debían reducirse en un 10%, respecto a los niveles del año 2005. En este caso, el esfuerzo necesario para conseguir esta reducción se repartió entre los distintos estados miembros de la Unión Europea y en concreto a España le correspondía alcanzar una reducción del 10%.

Desde el 2021 y hasta el año 2030 la situación nacional se vuelve a regir por lo establecido a nivel europeo:

- Los sectores sujetos al comercio de derechos de emisión y el sector marítimo deben reducir sus emisiones de GEI un 62% respecto a sus niveles del año 2005.
- Los sectores restantes, asumen una reducción a nivel europeo del 40% respecto a los niveles de 2005. Al igual que para el objetivo de 2020, el esfuerzo necesario para conseguir esta reducción se reparte entre los estados miembros de la Unión Europea, donde España se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 37,7% respecto a sus niveles del año 2005.

A su vez, la ley 7/2021, del 20 de mayo, de cambio climático y transición energética establece para 2030 un objetivo nacional de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 23% respecto a niveles de 1990 para el conjunto de toda economía. En el horizonte del año 2050, la misma ley asume para España, el objetivo de neutralidad climática para ese año.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

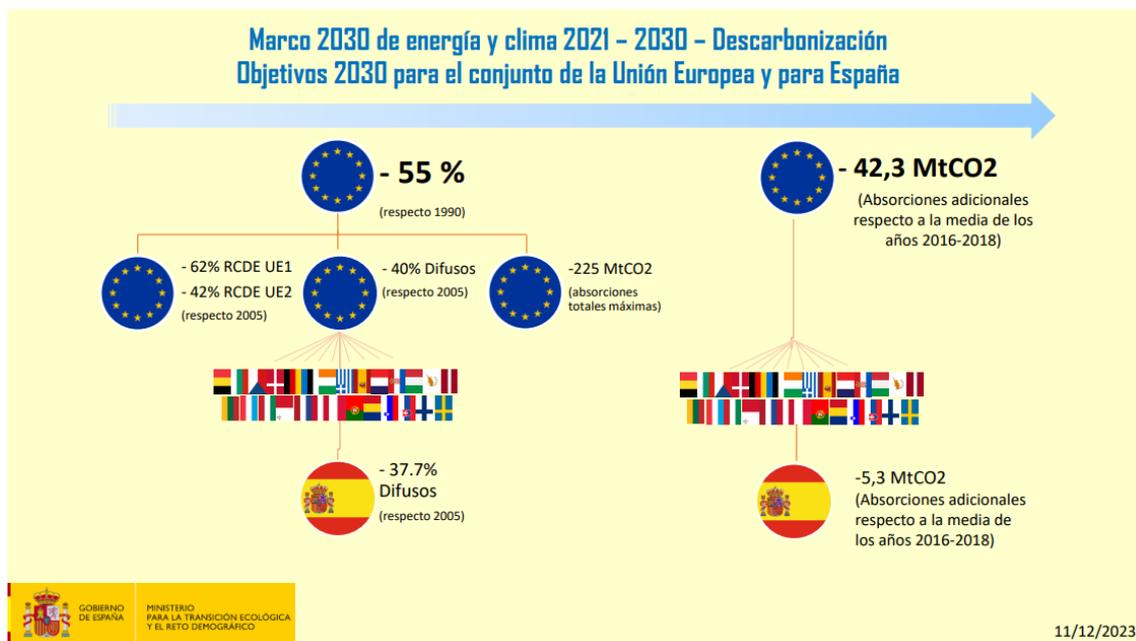


Ilustración 1: Marco 2030 de energía y clima de la Unión Europea y de España.

3.1.1. El comercio de derechos de emisión.

3.1.1.1. Concepto, principales características y funcionamiento.

Un sistema de comercio de emisiones es un instrumento que emplea y establece el mercado con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en los que un regulador define un límite superior de emisiones, al que se le denomina techo, que pueden ser emitidas por el total de los participantes de ese sistema. El derecho se corresponde con el derecho subjetivo a emitir una tonelada equivalente de dióxido de carbono y se trata de un derecho transferible, es decir, se puede tanto comprar como vender.

Al final de cada periodo (definido en el sistema), los participantes incluidos en el mismo, como pueden ser instalaciones u operadores aéreos entre otros, deben entregar un número de derechos de emisión igual al de sus emisiones durante dicho periodo.

Los derechos de emisión se asignan gratuitamente o se venden a los participantes del sistema, de esta manera se crea el incentivo de reducción de emisiones para los participantes, ya que si el participante emite más que los derechos que obtiene de forma gratuita (teniendo en cuenta que hay casos en los que puede no obtener ninguno), deberá comprar derechos de emisión en el mercado, lo que supondrá un coste adicional para el participante. De este modo, se asegura que los sectores

MÓNICA MATILLA CALVO

incluidos en el sistema cumplen con el principio de “quien contamina paga”.

A lo largo de cada sistema de comercio de derechos de emisión, los participantes deben llevar un control de las emisiones, con objeto de que se pueda determinar qué cantidad de derechos de emisión deben entregar. Este seguimiento de emisiones, por norma general, tiene que ser verificado por un tercero independiente.

3.1.1.2. El comercio de derechos de emisión en la Unión Europea y en España.

En 2003 se estableció el comercio de derechos de emisión de la Unión Europea a través de la directiva 2003/87/CE, que fijó las normas básicas del sistema y que incluía a España como país partícipe. Dentro del mismo, las instalaciones fijas, los operadores aéreos, las empresas navieras y las entidades reguladas deben entregar, en el Registro de la Unión para el comercio de derechos de emisión, un número de derechos de emisión igual a las emisiones anuales que se comunican en un informe anual de emisiones (IAE), que tiene que haber sido verificado por un tercero independiente para cualquier participante que lo emita. Las emisiones serán entonces validadas e inscritas en el Registro por el organismo competente según el caso.

Con el comercio de derechos de emisión de la Unión Europea se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel de la E y así contribuir a los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero adquiridos por la Unión, que han sido mencionados previamente. El objetivo en vigor para la Unión Europea es alcanzar una reducción de GEIs de al menos un 55% en 2030 con respecto a los niveles de 1990, pero también es una medida que se pretende mantener con el fin de conseguir la completa descarbonización en el año 2050.

En España este régimen se aplica a través de la ley 1/2005, del 9 de marzo, por la que se regula el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

3.2. CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE GEI.

En la actualidad la producción, la distribución y el consumo de energía son los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero tanto a nivel mundial, como a nivel europeo y nacional. Según el informe de Naciones Unidas sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la energía es el

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa cerca del 70% de todas las emisiones mundiales de GEI.

En Europa, según el último análisis panorámico sobre la acción de la UE en materia de energía y cambio climático, la producción de energía procedente de combustibles fósiles y el consumo de energía por el transporte, la industria, los hogares y la agricultura representan conjuntamente el 79% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE.

3.2.1. Indicadores de consumo energético y emisiones de GEI a nivel nacional.

A nivel nacional, la tendencia es la misma y la relación entre el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero también en muy estrecha. El consumo energético de los sectores previamente mencionados (transporte, industria, hogares y agricultura), conforman la mayor parte de las emisiones de GEI totales del país, que, en este caso, se encuentran cerca del 70% del total.

A continuación, quedan reflejados los gráficos representativos del consumo de energía por sector en España, así como las emisiones procedentes de cada sector.

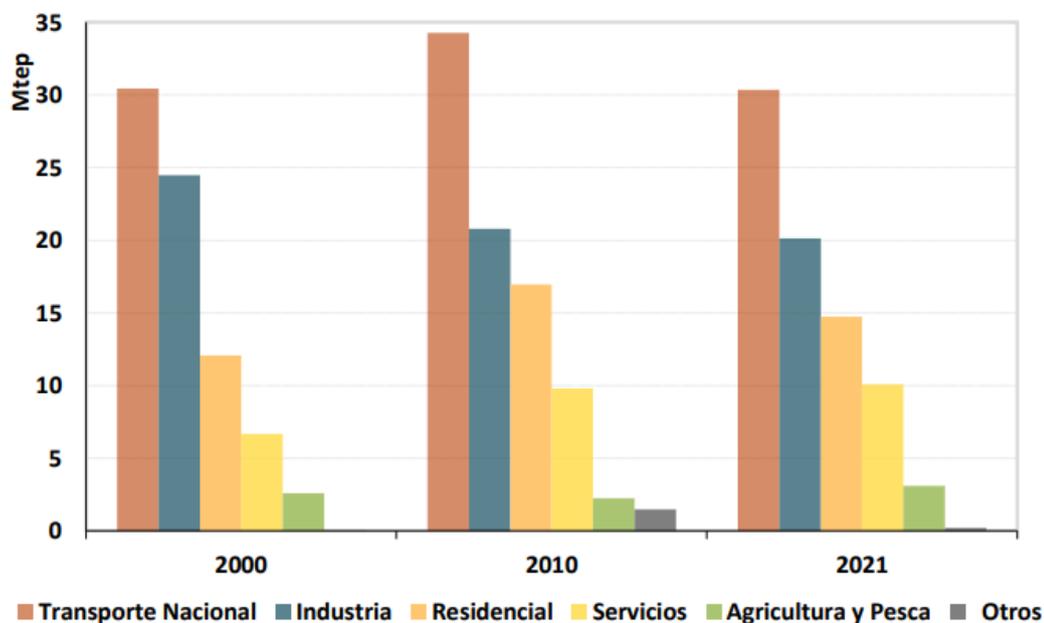


Figura 1: Evolución del consumo energético en España por sector en Mtep desde el año 2000 hasta el año 2021.

MÓNICA MATILLA CALVO

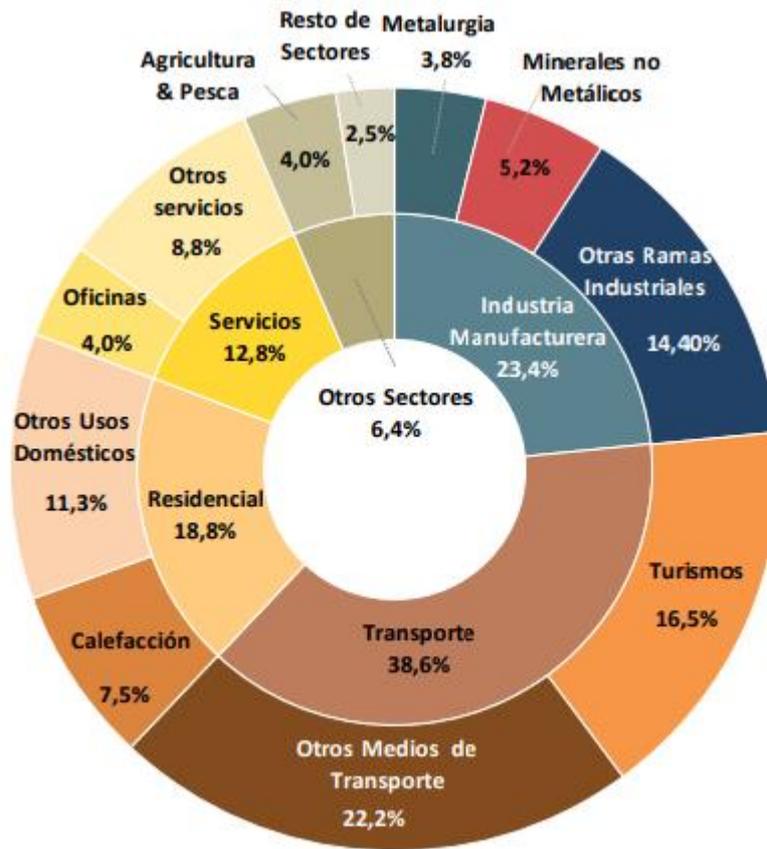


Figura 2: División del consumo de energía por sectores del año 2021.

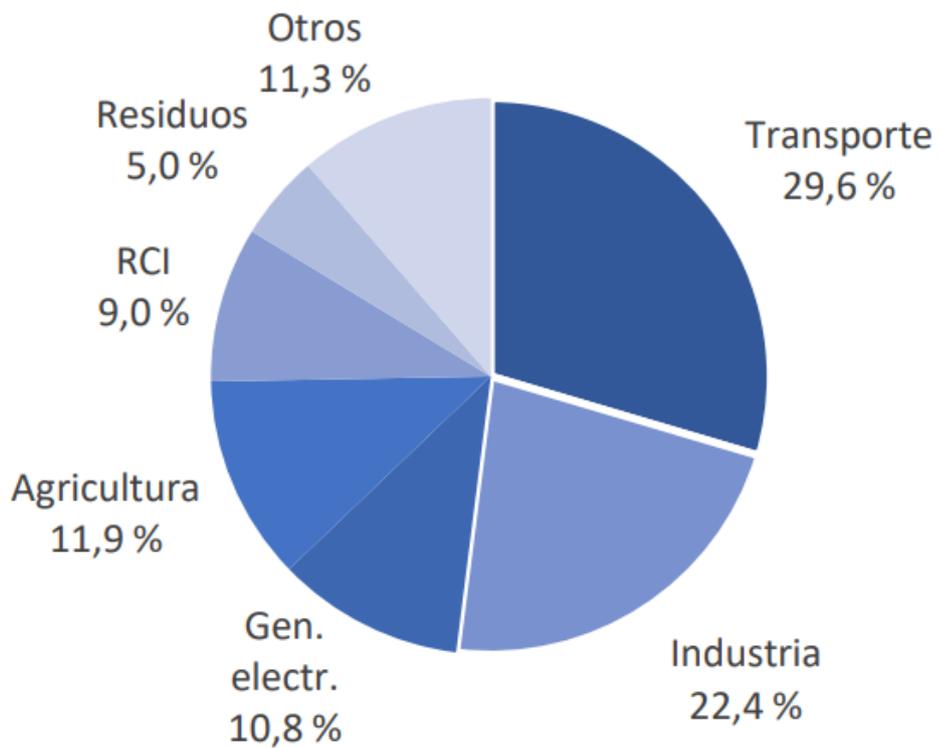


Figura 3: Distribución de emisiones brutas de GEI en 2021 por sector.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

3.2.2. Indicadores de consumo energético y emisiones de GEI a nivel nacional. Sector industrial.

Dentro de esta división, se puede observar cómo el sector industrial representa cerca del 21% del total del consumo de energía, siendo el segundo sector de mayor consumo, solo por detrás del sector transporte, y, por lo tanto, tiene una gran responsabilidad en las emisiones de gases de efecto invernadero generadas, que se corresponden con el 22,4% de las emisiones totales nacionales.

El sector industrial destaca negativamente en cuanto a emisiones y a consumo energético debido a que el mayor porcentaje de las fuentes empleadas para generar energía primaria está conformado por el carbón, el gas natural y otros productos petrolíferos.

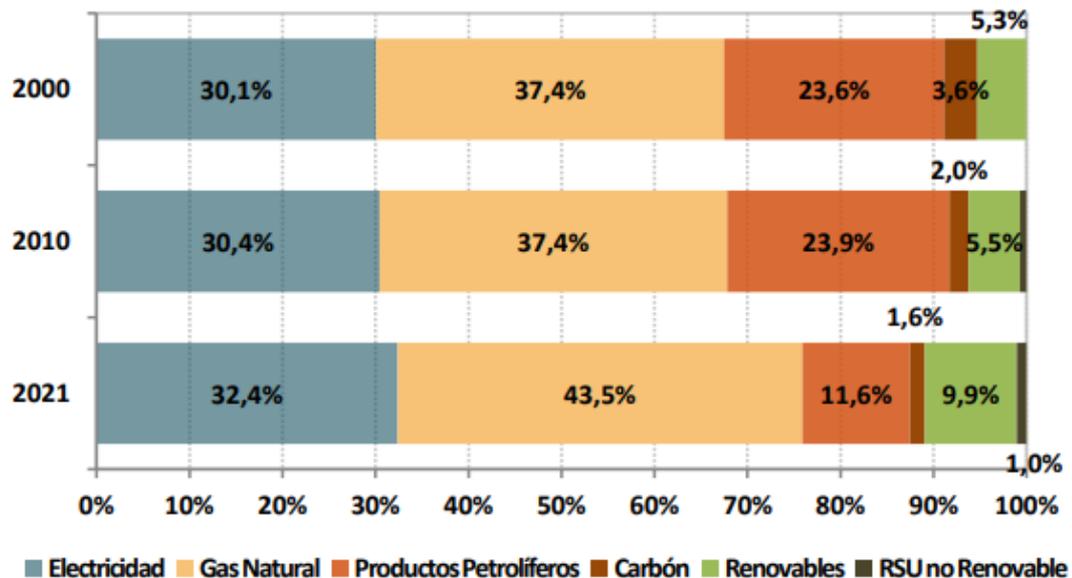


Figura 4: Evolución del consumo energético de la industria por fuentes energéticas desde el año 2000 hasta el año 2021.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la situación actual a nivel nacional del sector de la industria y la legislación vigente en materia de emisiones, así como los objetivos establecidos de sostenibilidad, con el fin de conseguir la descarbonización en 2050, se puede concluir con que el sector industrial tiene un inmenso potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que generan.

Para el cumplimiento de estos objetivos, la eficiencia energética y las mejoras que vienen de la mano de esta en el campo industrial, se consideran la palanca necesaria y fundamental que permitirá alcanzar un sistema energético sostenible; así como la

herramienta adecuada, junto con las energías renovables para transformar el sistema energético actual y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.3. CONCEPTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

El concepto de eficiencia energética hace referencia a la capacidad de hacer uso de la energía de la forma más coste-eficiente posible para llevar a cabo un proceso productivo o para proveer cualquier tipo de servicio, minimizando así las pérdidas de energía que puedan darse en el proceso y reduciendo el propio consumo de energía y de las materias primas que se usan en el proceso.

Permite reducir el consumo de cualquier tipo de energía y con ello los posibles impactos ambientales asociados a ella, es por ello por lo que las medidas de eficiencia energética son consideradas como uno de los elementos clave para lograr los objetivos mundiales de sostenibilidad, que exigen con urgencia la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.3.1. Origen de la eficiencia energética.

En la década de los 70, aparecen, junto con los primeros problemas de suministro del petróleo, las primeras preocupaciones en cuanto a eficiencia energética. Debido a la escasez de este recurso, los precios del combustible aumentaron y la sociedad tomó conciencia de la crisis. En ese momento, los hogares y las industrias adoptaron una postura de ahorro energético, integrando en sus rutinas hábitos manuales de consumo eficiente (apagar luces, no usar radiadores innecesariamente...)

En los años 80 y 90 se desarrollaron los primeros modelos de gestión eficaz de la energía y se comienzan a implementar sistemas de monitorización de consumos y regulaciones automatizadas, como, por ejemplo, calentar en función de la temperatura. Hasta ese momento, la preocupación energética solo se vinculaba con cuestiones económicas, pero a partir del año 2000 y de la mano de la agenda y el plan de acción de El Protocolo Kioto para hacer frente a la emergencia climática, comienza a extenderse a necesidad de apostar por soluciones energéticas menos contaminantes y nocivas para el medio ambiente.

En la actualidad, la regulación y el desarrollo de técnicas de eficiencia energética se consideran un asunto prioritario de agenda social. Así, la normativa europea de eficiencia energética y medio ambiente establece los objetivos que deben lograr los estados miembros, dejándoles elegir los medios para alcanzarlos. Las principales directivas europeas vigentes hacen referencia al fenómeno de las fuentes renovables,

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

a la eficiencia energética de los edificios y las industrias o al etiquetado energético, entre otros.

3.3.2. Eficiencia energética en el ámbito industrial

En el ámbito industrial, la eficiencia energética viene de la mano de la optimización y uso responsable de los recursos energéticos de las operaciones a través de la implementación de tecnologías y estrategias que minimicen el desperdicio de energía, maximizando al máximo tiempo la productividad; debido a que, aparte de ser una vía crucial para la descarbonización necesaria a nivel europeo, es capaz de minimizar el consumo de energía por unidad producida de la entidad que lo lleve a cabo, lo que se traduce, a nivel económico, como una reducción en el coste unitario de fabricación del producto final.

3.3.2.1. *Beneficios de la eficiencia energética en el ámbito industrial.*

- Ahorro: Una mejor gestión de la energía puede permitir una gran reducción en los costos de producción, lo que a su vez puede llevar a productos más baratos o a un aumento en el margen de beneficio.
- Reducción del impacto ambiental: Las formas tradicionales de energía a menudo implican la liberación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Al aplicar cambios de eficiencia energética, las industrias pueden reducir significativamente su impacto ambiental, lo que puede llegar a ser muy beneficioso dadas las crecientes restricciones y regulaciones ambientales previamente mencionadas, tanto a nivel europeo como a nivel nacional.
- Imagen pública y responsabilidad social corporativa: Hoy en día, muchos consumidores están cada vez más preocupados por el medio ambiente, y valoran a las empresas que toman medidas para reducir su impacto ambiental. Por lo tanto, el uso de la energía sostenible puede mejorar la imagen pública de una empresa y ayudarla a atraer a nuevos clientes debido a la competitividad que suman estas prácticas.

3.4. GESTIÓN DEL CALOR RESIDUAL EN LA INDUSTRIA.

Dentro de las fuentes de consumo de energía de las empresas industriales, el consumo y la pérdida energética en forma de calor se considera una de las áreas con más ratio de actuación en materia de eficiencia energética y reducción de emisiones GEI.

A nivel industrial, se estima que del 20 al 50% de la energía consumida se pierde en forma de calor residual, por lo que el desarrollo de técnicas de eficiencia energética que sean capaces de recuperar/recircular el calor residual en procesos industriales o que eviten su pérdida, se considera clave para la reducción del consumo de energía primaria y, en consecuencia, de las emisiones contaminantes.

El calor residual se define como la energía térmica producida en procesos industriales que no es aprovechada y que se vierte al medio ambiente en forma de gases de escape u otros fluidos. Este excedente de calor puede ser un recurso valorizable en otros procesos productivos, ya sea de la propia industria o incluso de otros usuarios cercanos que puedan aprovecharse de la proximidad a la fuente de calor.

Dentro de los beneficios que caracterizan a este tipo de instalaciones se encuentra la valorización económica de una energía residual, la reducción del consumo de energía primaria, el ahorro en costes energético y la reducción en consumo y emisiones de gases de efecto invernadero.

3.4.1. Principales tecnologías de gestión del calor residual en la industria.

3.4.1.1. *Cogeneración.*

3.4.1.1.1. *Concepto y definición de la tecnología.*

Dentro de los sistemas y equipamientos industriales de recuperación de calor para incrementar la eficiencia energética de las industrias destaca la instalación de equipos de cogeneración de electricidad y calor.

La cogeneración, también llamada CHP (Combined Heat and Power) ha sido y es una de las tecnologías de eficiencia energética más promocionadas y subvencionadas por la Unión Europea en los últimos años.

Los sistemas de cogeneración son sistemas de producción conjunta de electricidad (o energía mecánica) y de energía térmica útil partiendo de un único combustible. Este aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor permite obtener elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin alterar el proceso productivo.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

De forma convencional, generalmente se tienen dos tipos de combustibles, el utilizado para la generación de vapor para los procesos industriales y el utilizado para la generación de energía eléctrica de apoyo (cuando falla la energía de la red eléctrica o en horas pico), además de la energía proporcionada por la red eléctrica. En el sistema con cogenerador se genera vapor y la energía eléctrica necesaria para los procesos con un único combustible, prescindiendo además de los grupos generadores de apoyo que representan costo de mantenimiento, depreciación u operación, entre otros. De esta manera, el excedente de energía eléctrica, de acuerdo con las leyes nacionales, se puede enviar a la red pública.

En los procesos industriales, estos sistemas permiten capturar el calor generado durante la producción de energía eléctrica y/o mecánica por mediación, normalmente, de una turbina de gas natural, para, posteriormente utilizarlo como fuente de energía térmica para alimentar otro proceso industrial. De esta manera, parte de la energía disipada durante la combustión del gas en la turbina, será reutilizada.

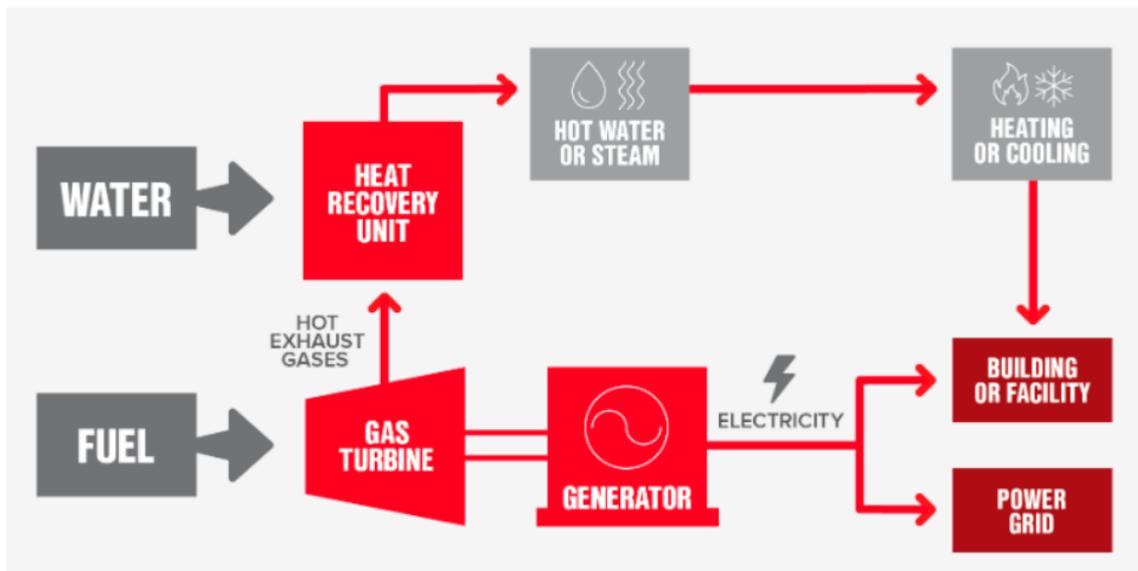


Ilustración 2 2: Esquema de un sistema de cogeneración industrial.

3.4.1.1.2. Tipos de cogeneración

En el ámbito industrial, lo más común es trabajar con turbinas de gas, pero existen otras tecnologías de cogeneración disponibles:

MÓNICA MATILLA CALVO

- Alimentado por turbinas de gas: Estos sistemas utilizan el calor residual de los gases de combustión de las turbinas de gas para generar energía; normalmente utilizan gas natural como fuente combustible.
- Con motor de gas: en este proceso de cogeneración se utiliza un motor alternativo de gas. Estos tipos de centrales de cogeneración CHP suelen fabricarse como unidades totalmente empaquetadas que pueden instalarse en el interior de una sala de máquinas o en un espacio exterior específico, además son fáciles de conectar a la infraestructura eléctrica y de calefacción de las instalaciones
- Motor de biocombustible: estos sistemas son muy similares a los anteriores, ya que utilizan un motor alternativo de gas o Diesel adaptado al uso de biocombustible como fuente de combustible. El uso de biocombustibles reduce en gran medida el consumo de combustibles fósiles y conlleva una reducción en las emisiones de carbono. Además, estas centrales suelen presentarse en unidades ensambladas que son fáciles de conectar a la infraestructura de calefacción y electricidad existente.
- Cogeneración con turbina de vapor: Este sistema utiliza el sistema de calefacción como condensador de vapor para la turbina de vapor.

Cualquiera de los diferentes tipos de cogeneración mencionados anteriormente mejora la eficiencia energética, aporta beneficios medioambientales debido a que ayuda a disminuir las emisiones y garantiza el ahorro. Además, reduce la dependencia de la red energética y promueve la autosuficiencia energética, reduciendo las importaciones de energía.

3.4.1.2. *Aislamiento térmico.*

3.4.1.2.1. *Concepto y definición de la tecnología.*

Una de las soluciones más comunes y utilizadas en la industria en cuanto a eficiencia energética son los aislamientos térmicos, debido a que aparte de proporcionar ahorro energético a la instalación, mejoran características como la propia seguridad del personal o el impacto ambiental generado.

De manera general, el calor que generan los hornos, quemadores o calentadores, entre otros, al quemar combustible (normalmente gas natural o diésel) causa una elevada diferencia de temperatura entre el medio caliente y el medio ambiente que provoca la transferencia de calor de uno a otro. El aislamiento térmico consiste en el uso de un material o una combinación de materiales, los cuales tienen baja conductividad térmica y contienen bolsas de

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

aire (la conductividad térmica del aire es una de las más bajas), con el fin de que actúen como barreras entre la estructura por la que circula el flujo de calor y el medio exterior, reduciendo considerablemente las pérdidas de calor en la estructura en la que se decide aplicar el aislamiento.

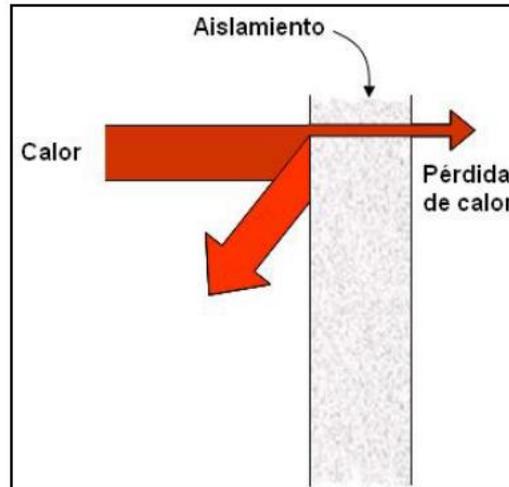


Ilustración 3: Función del aislamiento térmico.

3.4.1.2.2. Principales beneficios

- Ahorro energético: El beneficio principal del aislamiento térmico es reducir la cantidad de energía necesaria del proceso evitando el flujo de calor a través del material y reduciendo las pérdidas de calor. Cuanta más cantidad de calor se retenga dentro de la estructura, menos energía se consume.
- Impacto medioambiental: Debido a la acción del aislamiento, la cantidad de energía necesaria disminuye, y, por tanto, se reducen las emisiones de CO₂ generadas, ya que como se ha mencionado previamente, la mayor parte de la energía que se utiliza en procesos térmicos (calentadores, quemadores...) procede de la transformación de un combustible.
- Estabilidad térmica: Otro de los beneficios más notorios es el mantenimiento estable de la temperatura, ya que la mayoría de los procesos son sensibles a las variaciones de ésta y pueden llegar a afectar al resultado final del producto si no es un parámetro que se regule bien. Con el aislamiento térmico se mantiene de forma más fácil y óptima la temperatura necesaria durante el tiempo que corresponda.

MÓNICA MATILLA CALVO

- Protección personal: Una superficie, de cualquier tipo, que se encuentre demasiado caliente representa un peligro para los trabajadores, ya que pueden tocarla accidentalmente y sufrir quemaduras. Asimismo, el exceso de calor en el medio de trabajo puede afectar al rendimiento y a la comodidad de los operarios. Por todo esto, otro de los beneficios destacables del aislamiento térmico es la protección y la comodidad del personal en el medio de trabajo.



Ilustración 4: Beneficios del aislamiento térmico.

3.4.1.3. Ciclo de Rankine Orgánico (ORC) para producción eléctrica.

Uno de los métodos más efectivos en cuanto a la recuperación de calor es el ciclo orgánico de Rankine (ORC) que permite transferir calor térmico a líquidos o a gases y producir energía. Generalmente, la fuente de energía térmica alimenta a un evaporador y cuando el fluido se ha vaporizado entra en el módulo de potencia y se expande en una turbina, cuyo eje hace funcionar un generador para producir electricidad. Es necesaria, además, la acción de un condensador para devolver el fluido de trabajo a su fase líquida y para impulsar su movimiento se emplea una bomba.

La fuente de calor puede ser natural, como ocurre en el caso de la energía geotérmica o calor residual proveniente de cualquier fuente industrial. Además, no es necesario trabajar con excesivas temperaturas ya que el ciclo orgánico de Rankine puede trabajar con calor a baja temperatura.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

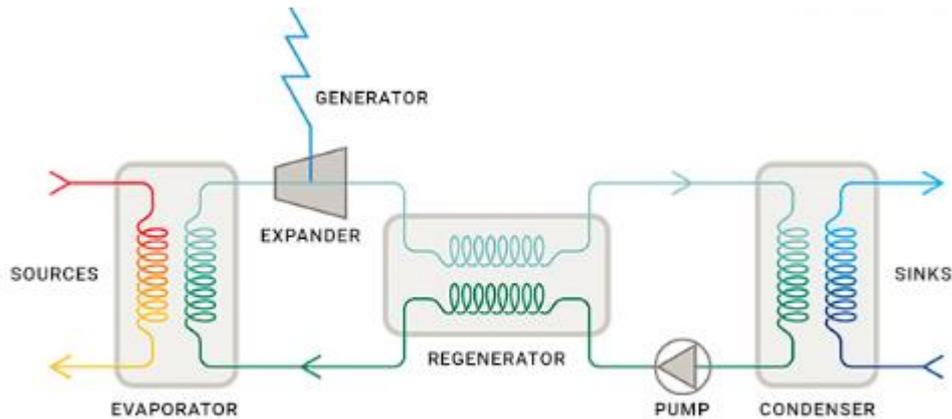


Ilustración 5: Esquema de un ciclo orgánico de Rankine.

3.4.1.4. Precalentadores de aire

Un APH (Air Preheaters) o precalentador de aire es un intercambiador de calor aire-humos que está diseñado para, mediante la energía contenida en los humos caliente, elevar la temperatura de una corriente de aire, normalmente una corriente de aire ambiente, para poder conducirlo, posteriormente, en procesos como quemadores de un horno, calentadores o secador, que necesitan valores de temperatura elevados para su correcto funcionamiento. Estos equipos suelen consistir en haces de tubos o placas, y cuentan con dos circuitos: Circuito de aire y circuito de humos o gases caliente.

En el circuito de aire, este circula por el interior de los tubos y está dispuesto de manera perpendicular al circuito de gases calientes. Este aire circula a través del equipo gracias a la acción de un ventilador de tiro forzado.

En el circuito de humos o gases calientes, éstos circulan por el exterior de los tubos y está dispuesto al igual que en el anterior caso, de manera perpendicular al circuito de aire. La circulación de los humos por el equipo se ayuda de la acción de un ventilador de tiro inducido o de una chimenea.

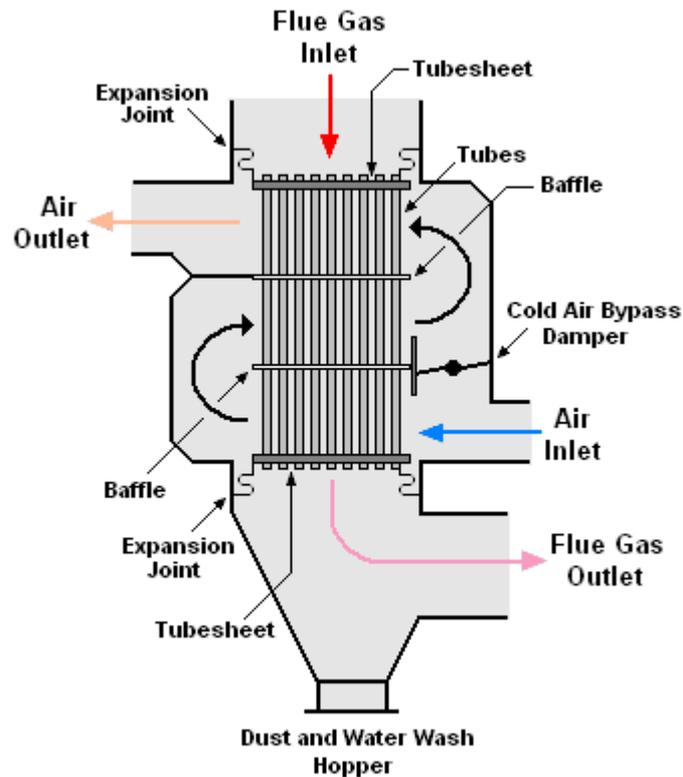


Ilustración 6: Esquema del funcionamiento de un precalentador de aire.

3.4.1.5. Bombas de calor

Las bombas de calor son cada vez más relevantes como tecnologías para mejorar la eficiencia energética y disminuir las emisiones de CO₂ en la industria. Cuando se genera calor de proceso “convencional” utilizando combustibles fósiles, cualquier calor residual se pierde o incluso debe enfriarse nuevamente usando energía adicional. Esto se debe a que el calor residual de baja temperatura de los procesos de producción por debajo de los 100°C generalmente no se puede usar para otros fines y a menudo se desecha. En particular, las bombas de calor industriales, aprovechando algún flujo de calor de rechazo, permiten suministrar calor a una mayor temperatura para ser aprovechado en procesos industriales, en el calentamiento o precalentamiento de soluciones, o para la calefacción o climatización de edificaciones.

Hoy en día, la implantación de sistemas de bomba de calor para suministrar calor a temperaturas menores a 100°C se considera generalmente sencillo. Aplicaciones a mayores temperaturas son posibles, pero requieren todavía una mayor madurez de la tecnología, tanto en el desarrollo de bombas de calor adecuadas para dichas aplicaciones, así como en relación con su integración en los procesos a mayores temperaturas.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

La bomba de calor es una maquina térmica que permite obtener calor desde un medio a baja temperatura, para luego transferirlo a otro medio a una temperatura mayor mediante el aporte de trabajo externo al sistema.

Los principales componentes de una bomba de calor industrial son el compresor, el condensador, la válvula de expansión, el evaporador y ciertos componentes auxiliares.

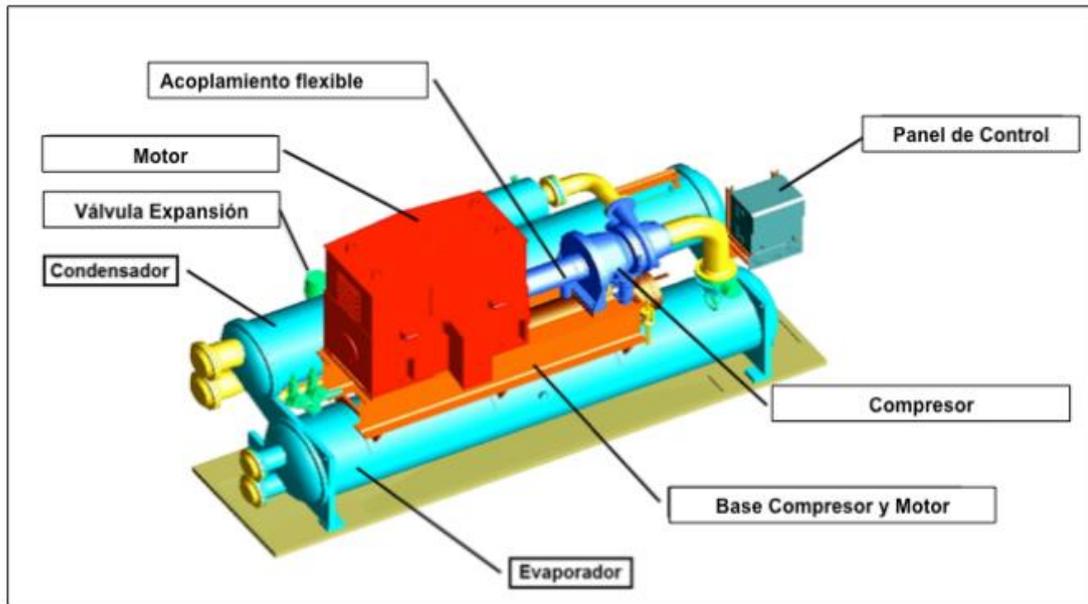


Ilustración 7: Componentes principales de una bomba de calor industrial.

El principio de funcionamiento se basa en el ciclo de Carnot, donde el fluido de trabajo (fluido refrigerante) absorbe calor desde una fuente a baja temperatura (proceso de evaporación del refrigerante), para entregarla a otra que esta a una temperatura superior (proceso de condensación del refrigerante). La bomba de calor consume energía eléctrica para accionar el compresor, el cual es el encargado de transportar el refrigerante desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación del sistema.

El refrigerante en estado líquido y a baja presión, si es expuesto en un intercambiador de calor con un fluido a una temperatura mayor, se evaporará, y por lo tanto, absorberá calor del medio. El compresor eleva la presión del gas generado, y por consiguiente la temperatura de esta está a condición necesaria que permita calentar el fluido de proceso. Durante el proceso de ceder el calor del refrigerante al fluido de proceso, el refrigerante se condensará, para posteriormente pasar por una válvula de expansión, donde volverá al estado líquido a baja presión y temperatura, cerrando así el ciclo de operación.

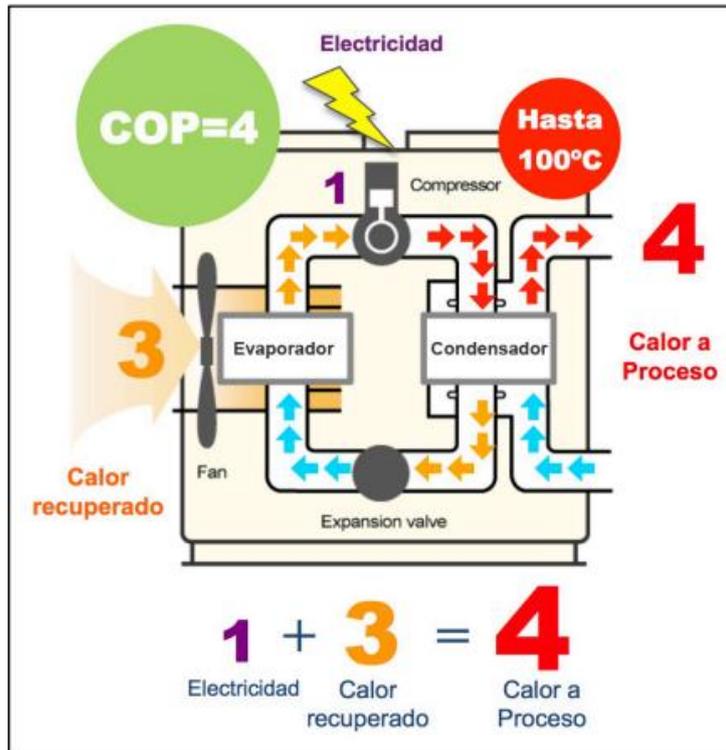


Ilustración 8: Principio de funcionamiento de una bomba de calor.

Al concepto de eficiencia de una bomba de calor se le denomina COP, que es el acrónimo de Coefficient of Performance. El COP corresponde al ratio entre la energía térmica generada y la energía consumida. En la ilustración 7 se puede apreciar un ejemplo en el que la bomba de calor, para poder suministrar cuatro unidades de calor a un proceso, requiere tan solo una unidad de eléctrica para accionar el compresor. El resto de la energía térmica (tres unidades) la obtiene de la fuente de calor, que, en el caso del sector industrial, normalmente sería a partir de calor actualmente rechazado en la planta. De esta forma, para el caso mostrado en la ilustración anterior, el COP de la bomba de calor sería igual a 4.

Para poder implementar un sistema de bomba de calor en la industria, resulta fundamental poder identificar al menos una fuente de calor disponible en la planta. Algunas de las principales fuentes de calor normalmente presentes en la industria, serían las siguientes:

- Circuito de agua de torres de enfriamiento o aerofriadores.
- Disipación de calor en plantas de refrigeración (condensadores)
- Riles a media o baja temperatura
- Flujos de proceso que se requieren enfriar
- Calor rechazado en compresores de aire (aire comprimido)
- Aire caliente (o gases) de algún proceso

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

Es importante que la fuente de calor sea lo más constante posible a lo largo del año, tanto a nivel de disponibilidad (que sea un flujo constante), así como que su temperatura no presente grandes variaciones estacionales. Esto permitirá definir un sistema de bombas de calor que aporte gran cantidad de calor a lo largo del año, y a la mayor eficiencia posible.

4. ANÁLISIS Y VIABILIDAD DE LOS PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA FÁBRICA SAINT-GOBAIN PAM SANTANDER.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.

El grupo Saint-Gobain es una multinacional francesa originada en 1665 que se encarga de fabricar materiales estructurales de alto rendimiento para todo tipo de instalaciones y construcciones. Uno de los componentes del grupo es Saint-Gobain PAM, que se encuentra repartido en sedes y fábricas por todo el mundo y proporciona sistemas completos de canalización caracterizados por su fundición dúctil, para los mercados de agua potable, riego, saneamiento, aguas regeneradas, edificación e industria.

Sus productos son considerados referentes internacionales en el sector de la canalización. Esto se debe, en gran medida a la fundición dúctil que los conforma. Para ello, a la aleación de hierro, carbono y silicio de la que están compuestos, se le agrega magnesio, un elemento que consigue que el grafito forme esferas y no láminas. De esta forma y con esta estructura, es posible lograr un material mucho más resistente y maleable, eliminando su posible fragilidad.

Una de esas fábricas es la que se encuentra localizada en Santander que se encarga de la completa fabricación de tubería de fundición dúctil de entre 150 y 600 milímetros de diámetro.



Ilustración 9: Fábrica de Santander - Saint-Gobain PAM España

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TFO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

El proceso productivo de la fábrica de Santander comienza en el parque de materias primas, donde se reciben y almacenan todos los materiales iniciales necesarios. Las materias primas más representativas son el coque, el ferrosilicio, el arrabio o la chatarra metálica (ya sea externa o intrínseca al proceso productivo, a esta última se la denomina "rechazo"). Con estas materias primas y sus óptimas proporciones se genera una receta que se funde a altas temperaturas (1450-1550°) en un cubilote, generando hierro líquido, conocido como colada, que sale con unas proporciones de azufre (S) muy elevadas.

Acto seguido y con el fin de reducir la cantidad de S que se encuentra presente en el hierro se lleva a cabo un proceso de desulfuración, en el cual se añade carburo de calcio a la colada, que consigue reducir la concentración de azufre en la colada.

Posteriormente, la colada es introducida en un horno canal de tipo eléctrico con el fin de almacenar y garantizar el suministro continuo de hierro a los próximos pasos del proceso. Este horno se encarga también de homogeneizar la mezcla y de mantenerla a una temperatura de entre 1420° y 1440°.

Uno de los pasos más importantes en la creación de los tubos es el tratamiento de magnesio; mediante este, el carbono presente en la colada adquiere forma esferoidal, característica fundamental de la fundición dúctil. Para ello, se introduce magnesio a través de una campana en el fondo de un recipiente que contiene la mezcla de hierro y genera una reacción muy agresiva y exotérmica.

A partir de este momento, el tiempo del que se dispone para usar la aleación es muy limitado, ya que la temperatura de ebullición del magnesio es de 1091°; por lo tanto, el hierro líquido tiene que llegar a las máquinas de centrifugación antes de que pasen cinco minutos después de que se haya realizado el tratamiento, evitando que se evapore el magnesio y que se pierdan las propiedades obtenidas.

La mezcla es entonces introducida en las máquinas de centrifugación a través de unos básquets que suministran la misma cantidad de hierro para cada tubo que llegan un molde denominado coquilla, que tiene la capacidad de rotar y trasladar por medio de un sistema mecánico que permite la distribución de la colada dentro del molde y dando forma al tubo.

Una vez que la mezcla de hierro ha sido centrifugada, sale de la máquina en forma de tubo.

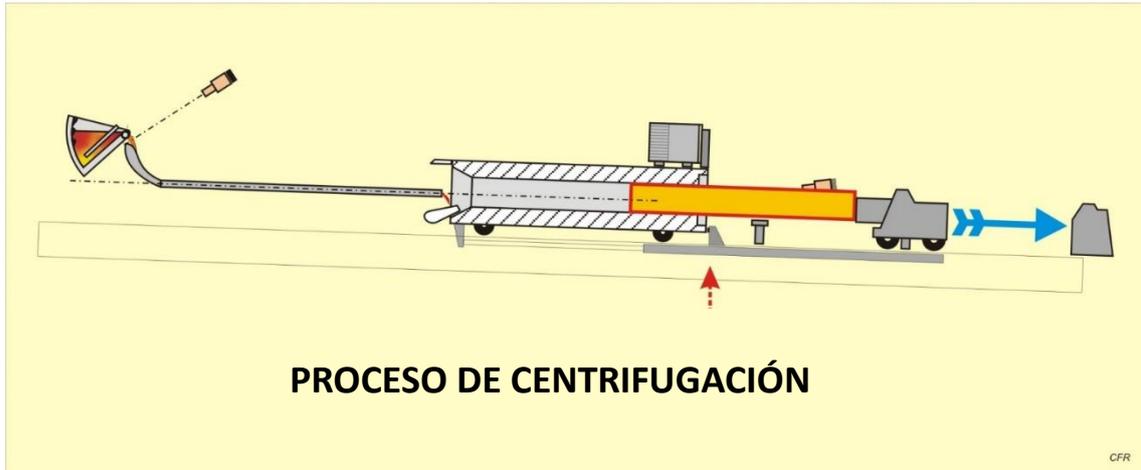


Ilustración 10: Proceso de centrifugación

A partir de ese momento y para garantizar las óptimas propiedades metálicas de los tubos, se realiza un tratamiento denominado “recocido” dentro de unos hornos térmicos específicos para ello, los cuales son parte fundamental del presente proyecto. Este tratamiento tiene como objetivo que los tubos pierdan dureza, ganen elasticidad y eliminen las tensiones que se hayan podido crear en el metal durante su temple, mejorando así sus propiedades mecánicas.



Ilustración 11: Horno de tratamiento térmico

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

Una vez que los tubos han finalizado su tratamiento, el siguiente paso es la aplicación de un revestimiento formado por Zinc-aluminio y cobre, que se pulveriza por todo el exterior del tubo y le protege de cualquier tipo de corrosión (suelo, atmósfera, niveles freáticos...), siguiendo la norma europea EN 545 de revestimientos exteriores de tubos de fundición dúctil.

El siguiente paso consiste en una prueba de presión hidráulica unitaria que garantiza la estanqueidad y la ausencia de fugas en los tubos. La prueba se lleva a cabo a diferentes presiones, según lo requiera por norma el tipo de tubo y el diámetro correspondiente que se esté fabricando.

Después de la prueba de presión hidráulica, se procede a cementar el tubo internamente con el fin de ofrecer las mejores condiciones hidráulicas del mismo, así como una protección eficaz contra la agresividad de los diferentes tipos de agua que puedan circular por el interior de este. El procedimiento se lleva a cabo mediante vibro centrifugación, este fenómeno se consigue debido a la continua rotación del tubo a la vez que vibra gracias al choque de unos rodillos con una muesca que tiene en el enchufe, la cual es específica para esta función. De esta manera se garantiza que la mezcla de cemento se distribuya y adhiera correctamente y en las mismas proporciones a lo largo del todo el tubo. El mortero de cemento se conforma con una mezcla de arena, cemento y agua que puede variar según el tipo de tubo que se esté fabricando.

El siguiente paso consiste en que el tubo fragüe durante un tiempo determinado con el fin de que el cemento se seque, de manera que se eviten problemas posteriores con el mismo. La norma indica que los tubos de pequeño diámetro (150-300 mm) deben de fraguar durante, mínimo, 48 horas y los tubos de medio diámetro (350-600 mm) durante, mínimo, 32 horas.

Cuando se completa el tiempo de fraguado correspondiente, se procede a aplicar una última capa de protección al exterior del tubo, una pintura en base agua conocida como aquacoat, que, además, le dota de color. Este proceso es el barnizado, donde después de aplicar la capa de pintura necesaria se seca la misma dentro de una gran estufa, el otro componente clave del proyecto a desarrollar.

MÓNICA MATILLA CALVO

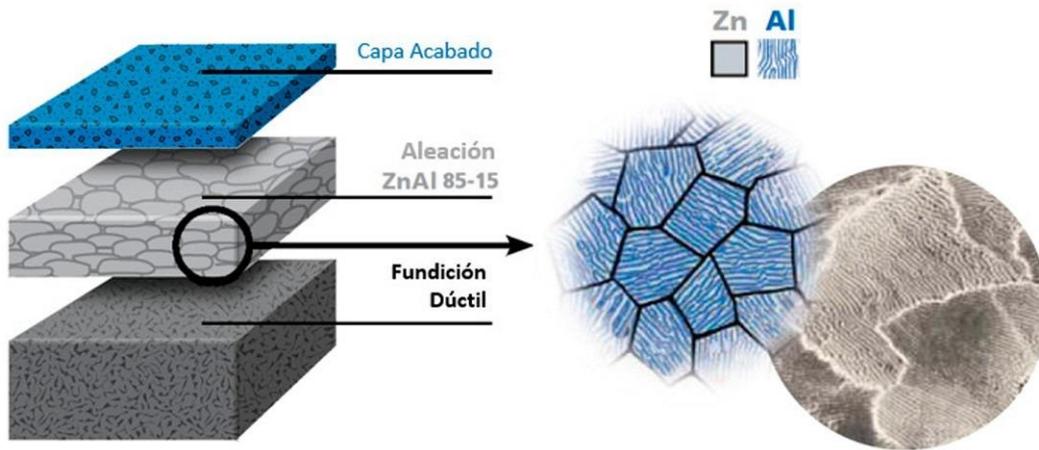


Ilustración 12: Estructura exterior final de la tubería.

Por último, los tubos se empaquetan según tipo y diámetro y se vuelven a revisar una última vez, listos para su almacenamiento y su pronta expedición.

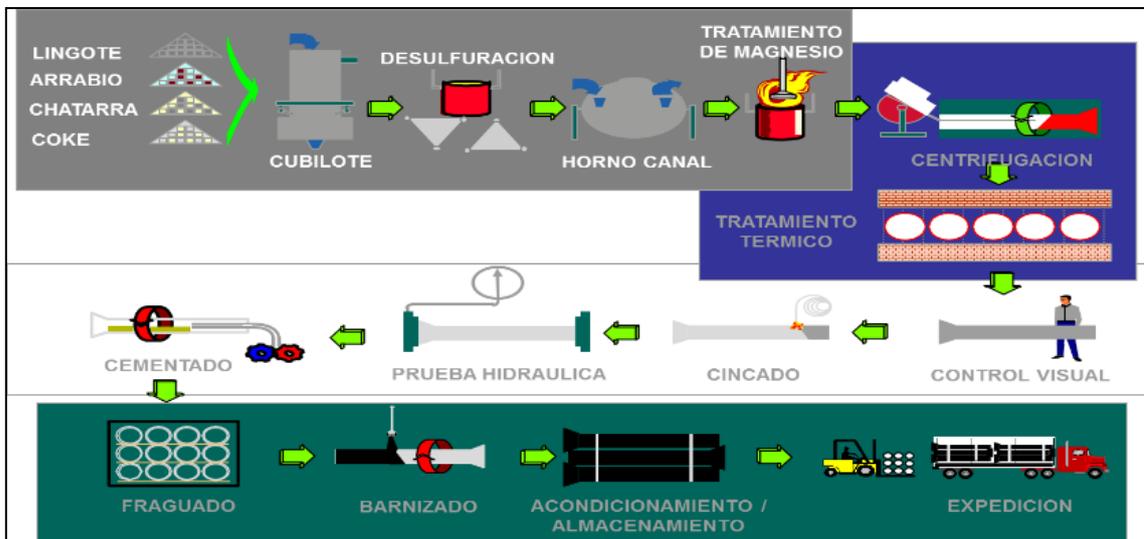


Ilustración 13: Proceso de fabricación

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

4.2. MARCO ESTRATÉGICO DEL GRUPO SAINT - GOBAIN.

En consonancia con la legislación vigente y el objetivo de descarbonización para el año 2050, las propias empresas también incluyen en sus políticas compromisos en materia de eficiencia energética y de reducción de las emisiones de GEI que generan y emiten. De esta manera, marcan sus propias metas/objetivos y reflejan su compromiso con la transición energética.

Es lo que ocurre con la política del Grupo Saint – Gobain, cuyo primer eje estratégico es el de seguridad, salud y medioambiente, con el cual se compromete a “Crear un entorno de trabajo seguro para trabajadores y colaboradores. Asegurar la protección del medioambiente promoviendo el desarrollo de una cultura preventiva e implantar una estrategia de sostenibilidad alienada con los objetivos del grupo”.

Dentro de los objetivos del primer eje estratégico se encuentran los siguientes:

- Minimizar las emisiones de GEI y el impacto que generan sus procesos (43434 Tn CO2 equivalentes emitidas en 2026), así como alcanzar la neutralidad en materia de emisiones en el año 2050, en consonancia con la legislación de la Unión Europea
- Minimización del consumo de energía (<1,547 MWh/T en 2026).
- Cero eventos medioambientales.
- Minimizar el consumo de agua (77% de agua reutilizada en 2026)

Por todo ello, uno de los principales retos a los que se enfrenta la fabrica de Saint-Gobain PAM España localizada en Santander, tanto a nivel legislativo en España y en Europa, como a nivel corporativo, es la elevada cantidad de consumo energético necesario a lo largo de todo el proceso productivo de la fabricación de los tubos.

Este consumo tan elevado de energía trae consigo unos niveles de calor residual generados muy altos, sobre todo en los hornos, que se materializan en pérdidas económicas y en emisiones de gases de efecto invernadero. Además, en la mayoría de los pasos que necesitan calor, el aporte térmico procede de quemadores de gas u otros combustibles, que aumentan las emisiones de la fábrica. Con el fin de disminuir estos valores, se presentan cinco posibles proyectos de eficiencia energética que se pueden llevar a cabo en la fábrica del grupo localizada en Santander.

4.3. PROYECTOS PROPUESTOS.

Con el fin de cumplir con los objetivos establecidos por parte del grupo Saint – Gobain, así como la legislación vigente en materia de reducción de emisiones y la completa descarbonización antes de que llegue el año 2050, la fábrica del grupo que se encuentra en Santander plantea cada año varios proyectos que buscan reducir las emisiones de GEI generadas durante todo su proceso productivo.

A continuación, se presentan y explican brevemente los proyectos presentados este año, junto con su ahorro en cuanto a consumo de gas en cada instalación de la que se habla, coste de inversión inicial y retorno de inversión (en años).

Con estos datos se pretende plantear una comparativa entre los proyectos que permita decidir cuál de ellos es el más rentable de manera general, el cual será ejecutado. De la misma manera, permite detectar proyectos cuya ejecución no compensa, que serán descartados y sustituidos por otros que se presenten en años siguientes.

4.3.1. Proyecto 1: Automatización del calentamiento de las cucharas de desulfuración.

Con la automatización del calentamiento de las cucharas de desulfuración se pretende reducir el tiempo que se tarda en calentarlas y las emisiones de GEI que genera el proceso de calentamiento de estas, para ello se propone instalar un sistema automático de calentamiento, que permita establecer una temperatura consigna a alcanzar a partir de la cual el calentamiento no sea necesario o se emplee solamente para garantizar que se mantenga la temperatura consignada. En la actualidad, el calentamiento de las cucharas de desulfuración se lleva a cabo durante todo el fin de semana, con la implantación de este proyecto, el tiempo de calentamiento se reducirá considerablemente.

4.3.1.1. *Datos característicos del proyecto 1.*

- Ahorro del consumo de gas del proceso de desulfuración: 35%
- Retorno de inversión: 1,61 años
- Inversión inicial: 120.000

4.3.2. Proyecto 2: Recuperación térmica de los hornos de tratamiento térmico para su uso en las estufas de barnizado.

El objetivo de este proyecto es la reducción del consumo de gas, procedente de la estufa de secado, que actualmente se genera debido al aporte de calor mediante

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

quemadores de gas, aprovechando el calor que desprende el horno de tratamiento térmico de recocido de los tubos. De esta manera, no solo se reduciría el consumo de gas emitido a la atmósfera, si no que se aprovecharía calor residual intrínseco al proceso productivo, que, en la actualidad, se evacúa a la atmósfera.

4.3.2.1. Datos característicos del proyecto 2.

- Ahorro del consumo de gas de la estufa de secado: 80%
- Retorno de inversión: 1,30 años
- Inversión inicial: 113.419

4.3.3. Proyecto 3: Mejora del aislamiento del horno de tratamiento térmico.

A través de la mejora del aislamiento del horno de tratamiento térmico, en el cual se han detectado pérdidas de calor considerables en algunas zonas, se pretende reducir las emisiones de GEI procedentes de esta instalación, que actualmente, se materializan debido a las pérdidas de calor. Para ello se pretende llevar a cabo la completa sustitución del aislamiento térmico actual, así como la sustitución varios elementos constructivos que permiten el aporte de calor al horno, como por ejemplo las toberas de los quemadores y las puertas del horno.

4.3.3.1. Datos característicos del proyecto 3.

- Ahorro del consumo de gas del proceso de desulfuración: 11%
- Retorno de inversión: 1,43 años
- Inversión inicial: 207.500

4.3.4. Proyecto 4: Recuperación térmica del circuito de disipación de humos del horno del cubilote para generación eléctrica mediante un ciclo ORC.

Para reducir las emisiones procedentes del cubilote se propone la instalación de un ciclo ORC, cuyo funcionamiento ha sido previamente explicado, con el fin de generar energía eléctrica para autoconsumo, a partir del circuito de aceite térmico de disipación de los humos del horno del cubilote.

4.3.4.1. Datos característicos del proyecto 4.

MÓNICA MATILLA CALVO

- Ahorro del consumo de gas (reducción de la potencia consumida): 50%
- Retorno de inversión: 2.98 años
- Inversión inicial: 2.120.000

4.3.5. Proyecto 5: Cambio de refractario de la cámara de combustión del cubilote.

Mediante la instalación de un nuevo y completo revestimiento de la cámara de combustión del cubilote se pretende reducir el consumo de gas, al mejorar el aislamiento de esta. Además, también se pretende reducir los gastos y el tiempo que se dedica anualmente a las reparaciones que se llevan a cabo en la cámara durante las paradas de verano y navidad.

4.3.5.1. Datos característicos del proyecto 5.

- Ahorro del consumo de gas de la cámara de combustión: 5%
- Retorno de inversión: 1,28 años
- Inversión inicial: 165.000

4.4. MATRIZ DE DECISIÓN.

Con el fin de tener una comparativa clara y visual de los proyectos de eficiencia energética propuestos para reducir las emisiones de GEI generadas durante el proceso productivo de la entidad, se plantea una matriz de decisión que compara los datos característicos citados en el apartado anterior.

4.5. MATRIZ DE DECISIÓN.

4.5.1. Factores de ponderación.

4.5.1.1. Factores de ponderación del ahorro en el consumo de gas.

- 1 - Ahorro muy bajo del consumo de gas de la instalación (<20%).
- 2 - Ahorro bajo del consumo de gas de la instalación (20% - 40%).
- 3 - Ahorro medio del consumo de gas de la instalación (40% - 60%).

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

- 4 - Ahorro alto del consumo de gas de la instalación (60% - 80%).
- 5 - Ahorro muy alto del consumo de gas de la instalación (>100%).

4.5.1.2. Factores de ponderación del retorno de inversión (en años).

- 5 – Retorno de inversión del proyecto muy bajo (<0.5 años).
- 4 - Retorno de inversión del proyecto bajo (0.5 años - 1 año).
- 3 - Retorno de inversión del proyecto medio (1 año - 2 años).
- 2 - Retorno de inversión del proyecto alto (2 años - 3 años).
- 1 - Retorno de inversión del proyecto muy alto (> 3 años).

4.5.1.3. Factores de ponderación de la inversión inicial.

- 5 - Inversión inicial del proyecto muy baja (<200.000 euros).
- 4 - Inversión inicial del proyecto baja (200.000 euros - 500.000 euros).
- 3 - Inversión inicial del proyecto media (500.000 euros - 800.000 euros).
- 2 - Inversión inicial del proyecto alta (800.000 euros – 1.100.000 euros).
- 1 - Inversión inicial del proyecto muy alta (>1.100.000 euros).

4.5.2. Matriz de decisión.

		PROYECTOS				
		P.1	P.2	P.3	P.4	P.5
FACTORES	% AHORRO	2	5	1	3	1
	RETORNO DE INVERSIÓN (años)	3	3	3	2	3
	INVERSIÓN INICIAL (€)	5	5	4	1	5
TOTAL		30	75	12	6	15

Figura 5: Matriz de decisión de los proyectos de eficiencia energética de la fábrica de Santander de la entidad Saint-Gobain PAM España.

4.5.3. Decisión final.

Una vez analizado el resultado de la matriz de decisión, se observa que la opción más óptima a realizar a corto plazo, lo cual no implica que el resto no se vayan a instalar en otro momento, es el proyecto de recuperación térmica de los hornos de tratamiento térmico para su uso en las estufas de barnizado.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

5. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PREVIA AL PROYECTO.

5.1. HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO

5.1.1. Descripción general.

Uno de los pasos del proceso productivo que más consumo energético requieren y en el que más calor residual se desprende es en el tratamiento de recocido del tubo, un tratamiento indispensable que garantiza las óptimas propiedades mecánicas del producto.

El recocido se lleva a cabo dentro de un horno de tratamiento térmico cuya temperatura varía según el tubo va avanzando. Se inicia con la entrada de los tubos al horno para su rápido calentamiento (Zona 1) hasta una temperatura ligeramente superior a los 950°C, a partir de ese punto, la temperatura se mantiene constante durante un determinado periodo de tiempo (Zona 2), para posteriormente proceder a enfriar rápidamente los tubos, que pasan de 950 °C a 770 °C (Zona 3). Por último, como etapa final del tratamiento térmico, la temperatura sigue disminuyendo, pero en esta ocasión, de manera lenta y controlada hasta los 715 °C (Zona 4).

Las diferentes temperaturas necesarias en cada zona son consignadas por los operarios y se aportan a través de quemadores de gas que se alimentan con aire del exterior. Este aire se calienta antes de llegar a los quemadores a través de un intercambiador por el cual retornan los humos de combustión procedentes del horno antes de ser expulsado a través de un exhaustor. Gracias a este intercambio, el aire exterior alcanza temperaturas en torno a 100°C-200°C, las cuales ya son óptimas para el trabajo de los quemadores.

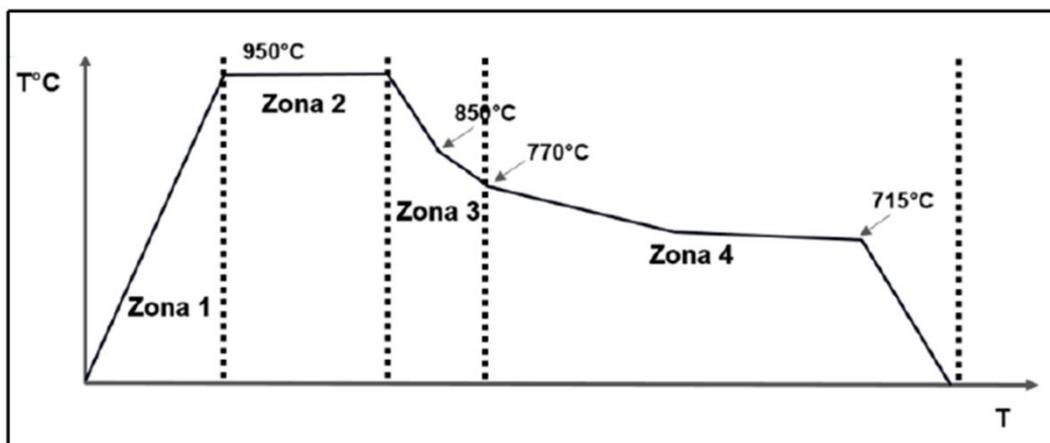


Figura 6: Variación de la temperatura interior del horno de tratamiento térmico.

5.1.2. Descripción del proceso de convección forzada de la zona 3 del horno de tratamiento térmico.

Para poder conseguir la bajada de temperatura necesaria en la zona 3 (zona de enfriamiento), el horno tiene instalado un sistema de convección forzada que funciona como un intercambiador.

Este sistema de enfriamiento se alimenta con aire del exterior a temperatura ambiente y está formado por dos colectores conectados mediante tubos.

El aire circula hacia el primer colector por mediación de un ventilador de trasiego. El sistema cuenta con una válvula de presión que permiten ajustar el caudal de entrada de la corriente externa según consigna y necesidades de enfriamiento.

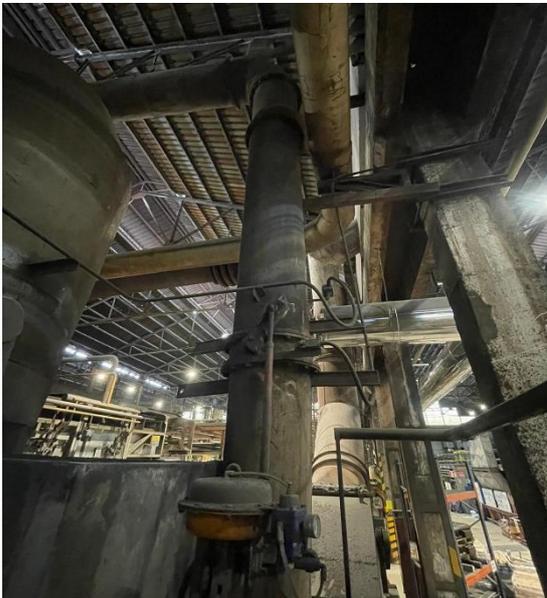


Ilustración 14: Colector primario.



Ilustración 15: Válvula de presión.

El colector continua su recorrido y se subdivide en tubos de diámetro menor justo antes de entrar a la zona 3 del horno de tratamiento térmico. En total se corresponden con 64 tubos que circulan pegados al techo superior del horno y que refrigeran la zona mientras que aumentan la temperatura interior del aire que transportan.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO



Ilustración 16: División del colector primario en tubos.

El aire que previamente circulaba a temperatura ambiente por el colector de entrada fluye hacia el colector de salida, a través de los mismos tubos internos del horno, pero ahora su temperatura ha aumentado, alcanzando valores alrededor de los 300°C.

Actualmente, el colector de salida desemboca en el foco exhaustor 26, que funciona como una chimenea y evacua el aire caliente que transporta a la atmósfera a temperaturas que se encuentran entre los 200°C y 250°C.



Ilustración 17: Colector de salida y foco 26.

5.2. ESTUFAS DE BARNIZADO.

5.2.1. Características y funcionamiento de la estufa.

En la actualidad, la entidad ya dota de una instalación mecánica, completamente segura y operativa, capaz de proporcionar a las dos estufas de secado (pequeños diámetros y medios diámetros), el calor necesario para conseguir eliminar la parte húmeda que queda en la pintura del tubo una vez ésta es aplicada.

La zona afectada por el proyecto de recirculación del calor residual del horno de tratamiento térmico solo afectará a la estufa de secado de los tubos de pequeños diámetros.

La estufa comienza inmediatamente después del pintado de los tubos a través de un transfer que transporta los mismos desde la zona de pintado de caña hasta el inicio de una cadena, encargada de transportar los tubos durante la longitud total de la estufa. Toda la zona, a excepción de la entrada y salida de los tubos, se encuentra cerrada.



Ilustración 18: Parte interior de la estufa de barnizado.

La atmósfera de la estufa por norma general necesita una temperatura de trabajo que oscila entre 40º y 70º, que se controla mediante sondas de medición de temperatura colocadas en distintos puntos de la estufa. El valor de temperatura lo consigna y modifica el operario, según las necesidades del momento, a través de una pantalla, en la cual se pueden consultar todos los valores correspondientes al secado de los tubos.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO



Ilustración 19: Sondas de temperatura.

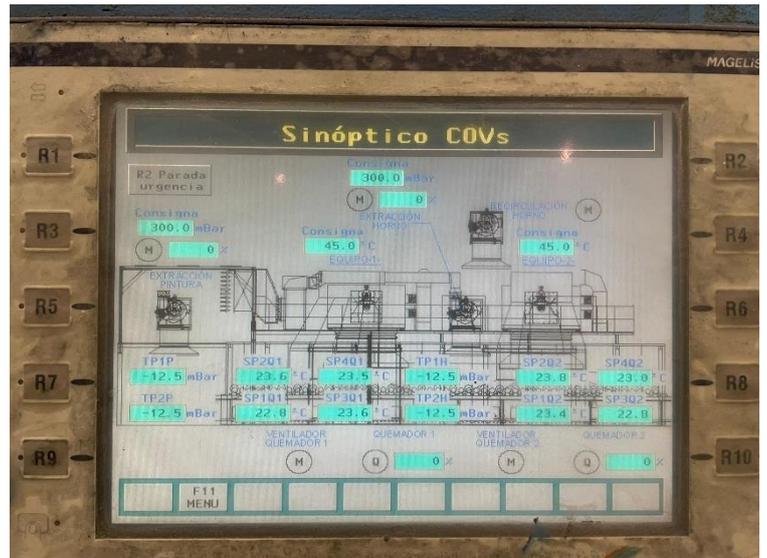


Ilustración 20: Pantalla informativa y de consiga de temperatura.

El aporte de calor se consigue mediante dos estructuras de transferencia de calor (UTA1 y UTA2), situadas en la parte superior de la estufa, las cuales están formadas por un quemador de gas en cada una (capaces de aportar 650kw cada uno), y dos intercambiadores de aire caliente, uno por cada quemador, por los que circula de manera forzada y gracias a la acción de un ventilador colocado en cada unidad de transferencia de calor, parte del aire perteneciente a la atmósfera de la estufa, para conseguir, de esta manera que se aumente su temperatura.

A continuación, se procede a explicar el proceso actual del aporte de calor que tiene lugar en la estufa de barnizado de pequeños diámetros.

- El aire caliente provenientes del quemador fluye a través del intercambiador conectado a este y retorna al mismo (circuito cerrado) (1).
- Los humos de combustión se expulsan a la atmósfera a través de una pequeña chimenea (2).
- El aire de la estufa asciende hacia el intercambiador, debido a la acción de un ventilador y se calienta (3).
- Ese mismo ventilador, por medio de tiro forzado, impulsa la corriente a través de un circuito que desciende hasta la parte inferior de la estructura (4).
- El aire fluye nuevamente hacia el interior a través de una rejilla que comunica el circuito forzado y la estufa y el proceso vuelve a empezar (5).

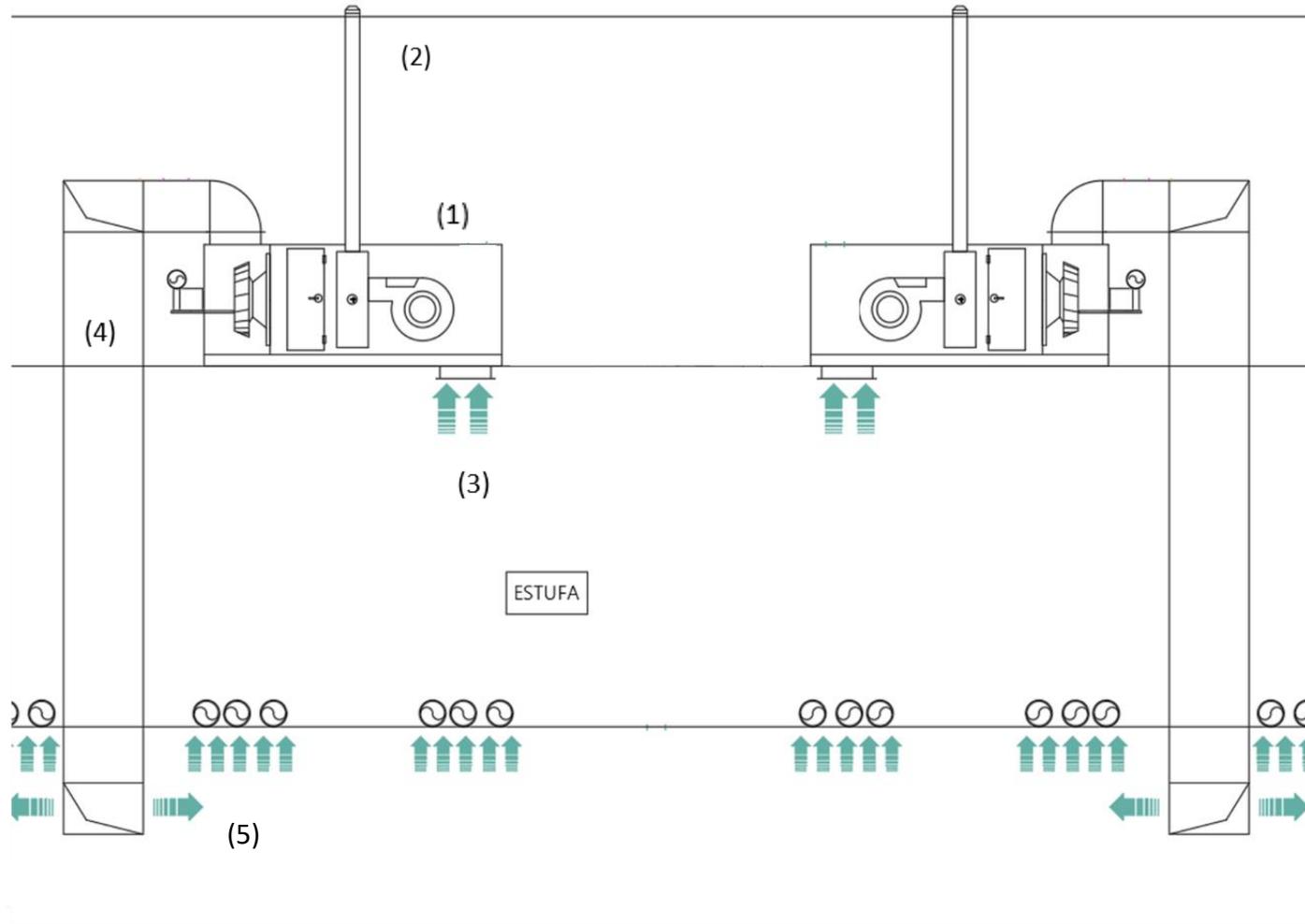


Ilustración 21: Esquema de la instalación y el funcionamiento de la estufa de barnizado en situación previa al proyecto.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

5.2.2. Consumo de gas de la estufa de barnizado.

En los últimos seis meses de producción, desde enero a junio, el consumo total de gas de la estufa de barnizado, debido al sistema actual de funcionamiento (quemadores de gas), ha sido de 80.114Nm³, con una media de 13.352,33Nm³ al mes y de 440,19Nm³ al día.

Por lo tanto, el consumo de referencia para el año 2024 con estas condiciones se corresponde con el doble, es decir, 160.228Nm³, dato a partir del cuál se basan los próximos cálculos, en materia de ahorro y consumos.

En las gráficas siguientes se refleja este consumo dividido en meses (figura 6) y dividido en días (figura 7).

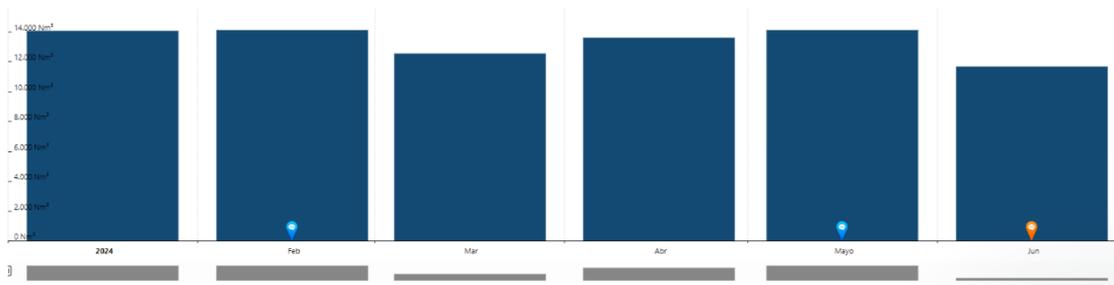


Figura 7: Gráfica mensual del consumo de gas de la estufa de barnizado.

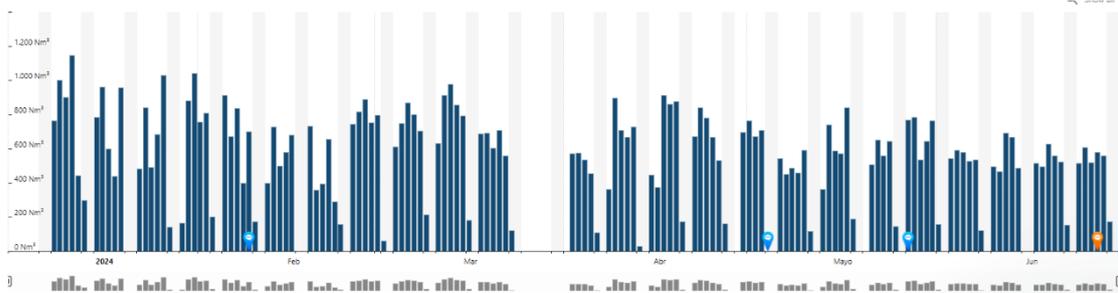


Figura 8: Gráfica diaria del consumo de gas de la estufa de barnizado.

6. PROYECTO E INSTALACIÓN.

6.1. PROPUESTA TÉCNICA

Con el presente proyecto se pretende canalizar el calor procedente del horno de tratamiento térmico, que hasta ahora se evacuaba directamente a la atmosfera por el foco 26, para su uso en la estufa de secado de los tubos de pequeños diámetros en el barnizado. De esta manera, el consumo de CO₂ y de energía de los quemadores de gas se reduciría de manera considerable y el calor residual procedente del proceso de enfriamiento de la zona 3 del horno no se desperdiciaría.

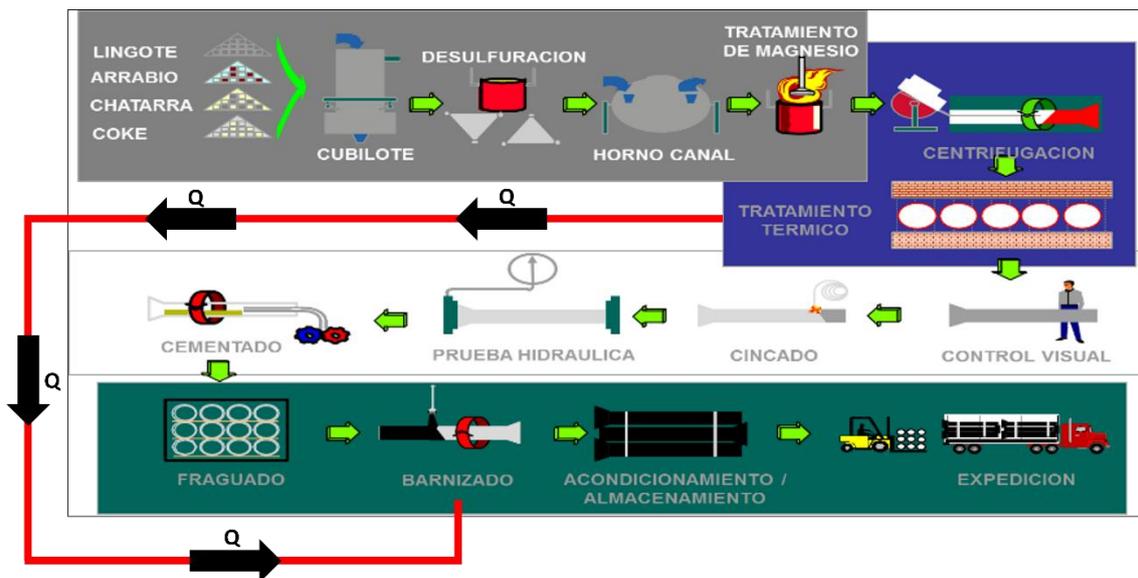


Ilustración 22: Recirculación teórica del calor residual del horno de TTO térmico a la estufa de barnizado.

Se trata de una implementación mecánica que va a complementar a la actual, la cual pasa a un segundo plano a modo de funcionamiento auxiliar. Los quemadores de gas permanecen intactos en la instalación y van a asegurar el funcionamiento de las estufas ante situaciones extraordinarias que puedan generar paradas o bajadas/subidas bruscas de la temperatura en el horno, con las cuales la estufa no debe trabajar.

Además, van a permitir el funcionamiento de la estufa cuando el horno esté parado y sólo sea necesario pintar tubos, ocasión que ocurre de forma puntual en periodos en los cuales no está activo el proceso productivo, como en Navidad o en verano.

La instalación garantiza, en todo momento, que este proceso de aprovechamiento de calor no afecta a la curva de enfriamiento del horno, evitando que pueda interferir en el tratamiento de recocido o en foco de emisión, por el cual se seguirá evacuando parte del caudal de aire caliente procedente del colector de salida cuando no sea necesario para la estufa.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

El foco 26 y la estufa son emplazamientos muy próximos físicamente, separados por un pasillo de 5,6 metros a lo ancho, lo que facilita en gran medida el desarrollo de la instalación. El único requerimiento que se debe tener en cuenta para el emplazamiento de las tuberías que van a transportar el flujo de calor es que, por la parte superior del pasillo mencionado, circula una grúa, por lo que parte de la instalación irá soterrada evitando cualquier interferencia con la misma.

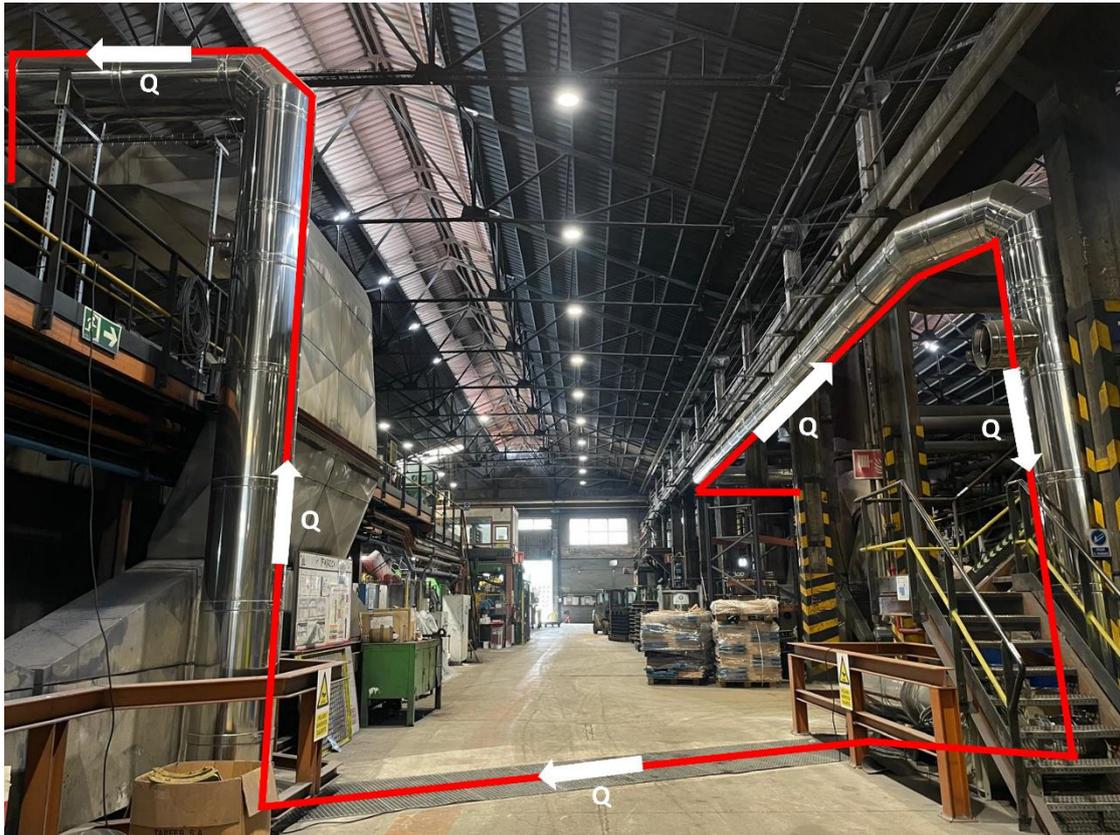


Ilustración 23: Recirculación real del calor residual del horno de TTO térmico a la estufa de barnizado.

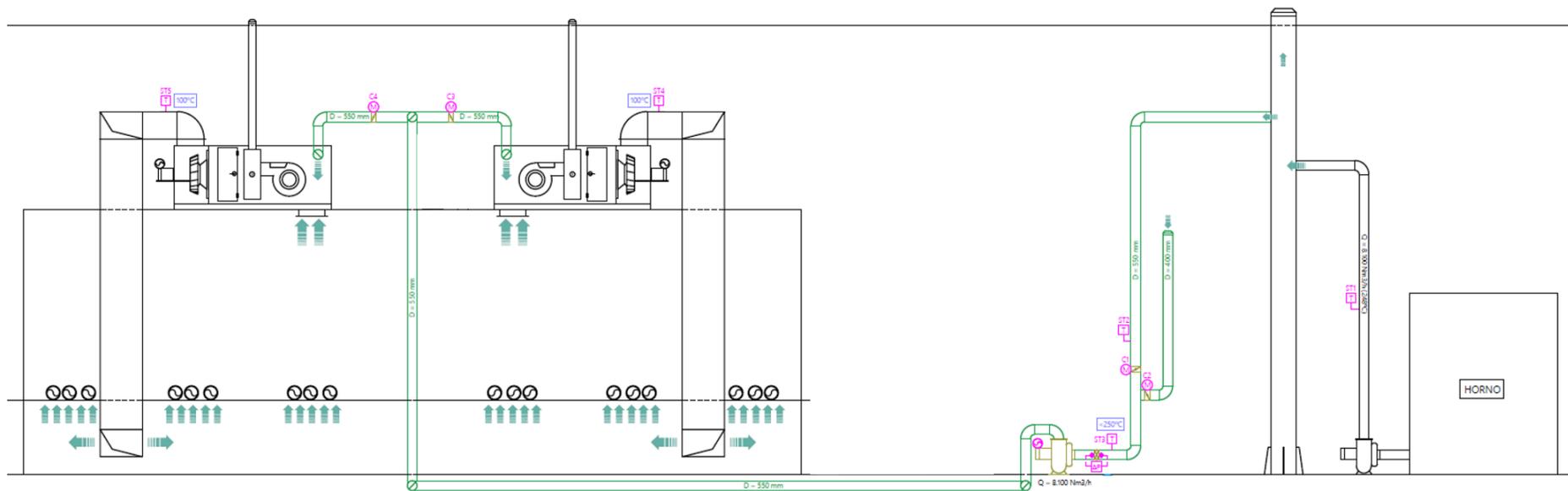


Ilustración 24: Esquema de la instalación y su funcionamiento (COMPLETO).

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

6.2. INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

La instalación comienza con el picaje del foco 26 (1), que permite recircular el flujo de aire caliente procedente de los hornos hacia la tubería principal del emplazamiento, encargada de trasportar el calor hasta la estufa de secado.

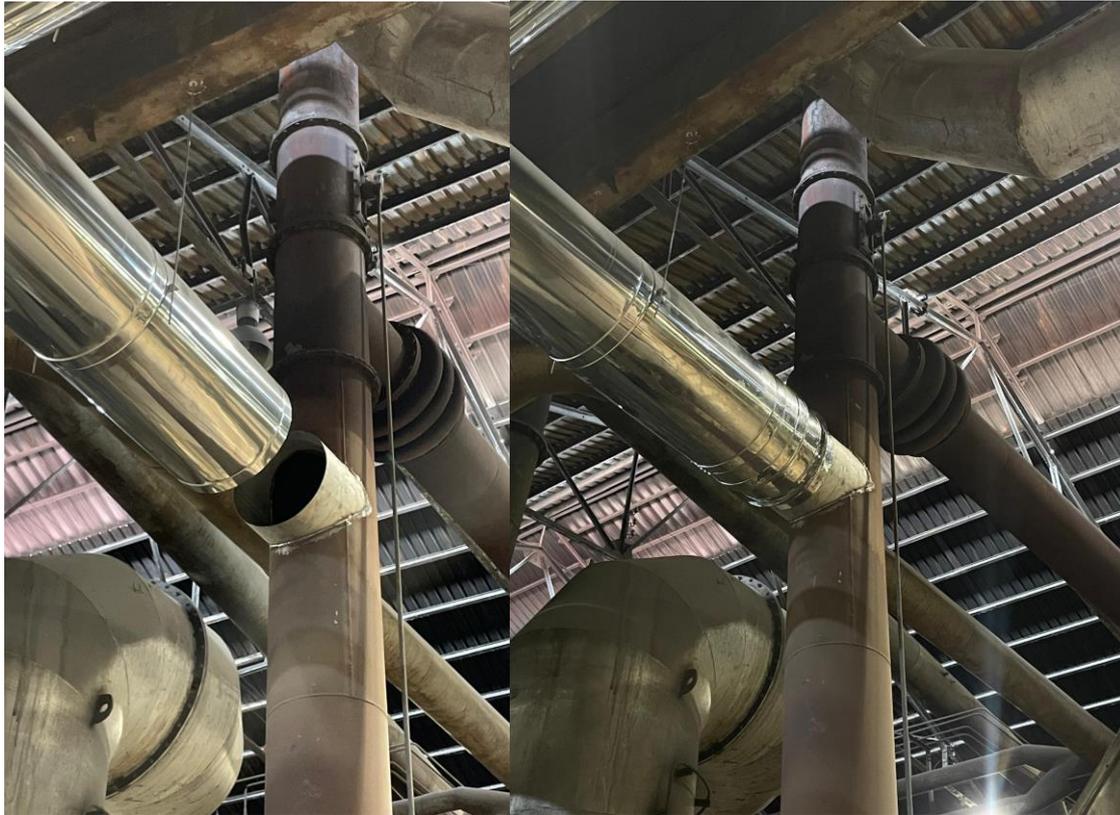


Ilustración 25: Picaje del foco 26.

El flujo de calor sigue el camino que traza la tubería hasta un ventilador de trasiego de aire caliente (2), dispuesto de un variador de frecuencia, que impulsa el flujo de aire por la parte soterrada de la tubería y hasta la zona superior de las estufas.



Ilustración 26: Ventilador de trasiego.

En condiciones normales de proceso no se prevé la disposición de aire a nivel térmico procedente del horno superior a 250°C, temperatura máxima a la que el ventilador mencionado puede trabajar, pero, aun así, y con el fin de ajustarse en todo momento a la temperatura de trabajo necesaria en la estufa, la instalación consta de una tubería auxiliar (3), previa a la llegada del flujo al ventilador, que permite captar aire de la nave (aire frío), para bajar el nivel térmico proveniente del foco 26. Con este sistema auxiliar se evita superar la temperatura máxima de trabajo de ventilador y proporcionar la temperatura exacta que necesita la estufa para su correcto trabajo. El caudal que entra por esta tubería auxiliar, al igual que el caudal necesario procedente del horno, se regula automáticamente según la consigna de temperatura de la estufa, a través de dos compuertas, situadas una en cada tubería (C1 Y C2), que se abren y se cierran total o parcialmente según los requerimientos necesarios de funcionamiento en cada momento.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO



Ilustración 27: Captación de aire exterior para bajar el nivel térmico del aire caliente.

Para poder controlar esta parte del proceso y para registrar y consultar las temperaturas de trabajo en cada momento, existen tres sondas de medición de temperatura:

- ST1: Temperatura de descarga del aire de refrigeración del horno al foco 26.
- ST2: Temperatura del aire captado desde el picaje del foco 26.
- ST3: Temperatura de trabajo del ventilador (consignable).

De esta manera, si la temperatura leída en la sonda ST2 supera la temperatura posible de trabajo del ventilador $ST2 > 250^{\circ}\text{C}$, las compuertas regulan el caudal de aporte que proporcionan, aportando más aire frío del exterior y menos de la tubería proveniente del foco 26 hasta conseguir valores inferiores o iguales a los 250°C .

Las compuertas no solo entran en funcionamiento para asegurar que la temperatura que llega al ventilador no supera los 250°C . Como se ha explicado previamente, la temperatura de entrada al ventilador tiene que ajustarse a la necesaria en la estufa, por lo tanto, si la temperatura leída en la ST2 es mayor que la consignada en la ST3, las compuertas actuarán para ajustar los caudales y garantizar que el aporte de temperatura que llegue al ventilador sea el adecuado para la consigna correspondiente.

En el caso en el cual el aporte de aire frío no sea necesario, compuerta C1 permanecerá cerrada.

MÓNICA MATILLA CALVO

Si en algún momento, por circunstancias extraordinarias del proceso, la lectura de temperatura de la ST3 supera los 260°C o es menor de 80°C, el sistema está programado para dejar de funcionar, ya que son valores demasiado extremos para el óptimo secado de los tubos en la estufa y para el correcto funcionamiento del ventilador, de esta manera se protege la instalación y el producto final de la entidad. Si esto ocurre, el aporte de calor en la estufa se llevará a cabo a través de los quemadores de gas.

El variador de frecuencia del ventilador permite ajustar la velocidad de este según las necesidades específicas de la estufa en cada momento. Esto significa que el motor no opera constantemente a su capacidad máxima si no que se adapta a la demanda real de caudal requerido, aumentando o disminuyendo la velocidad ya sea para situaciones de arranque/parada o fluctuando entre diferentes valores para conseguir que la temperatura consignada en la estufa se mantenga constante.

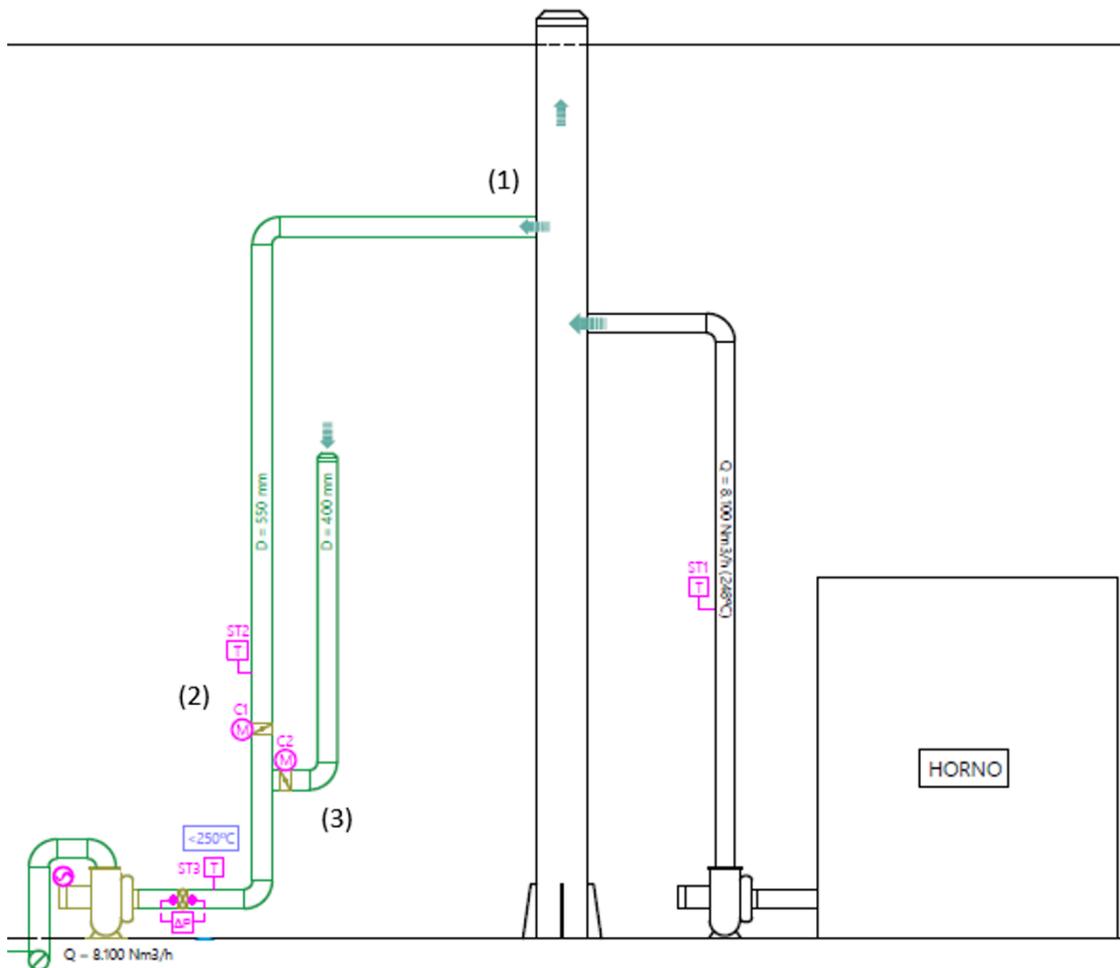


Ilustración 28: Esquema de la instalación y su funcionamiento (PARTE 1).

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

Una vez que el flujo de aire alcanza la zona superior de la estufa, la tubería se divide en dos e introduce el caudal correspondiente y necesario, de manera independiente, a las dos unidades de transferencia de calor (UTA1 Y UTA2). A partir de este momento el aporte de calor a la estufa se realiza de forma análoga a la situación de funcionamiento previa.



Ilustración 29: División de la tubería y entrada en las UTAs.

A continuación, se procede a explicar el proceso de aporte de calor de la nueva instalación que tiene lugar en la estufa de barnizado de pequeños diámetros.

- El flujo de calor procedente del horno se introduce en las dos unidades de transferencia de calor (1).
- El aire de la estufa asciende hacia las UTAs, debido a la acción del ventilador existente, se mezcla con el flujo de calor y aumenta su temperatura (2).
- Ese mismo ventilador, por medio de tiro forzado, impulsa la corriente a través de un circuito que desciende hasta la parte inferior de la estructura (3).
- El aire fluye nuevamente hacia el interior a través de una rejilla que comunica el circuito forzado y la estufa y el proceso vuelve a empezar (4).

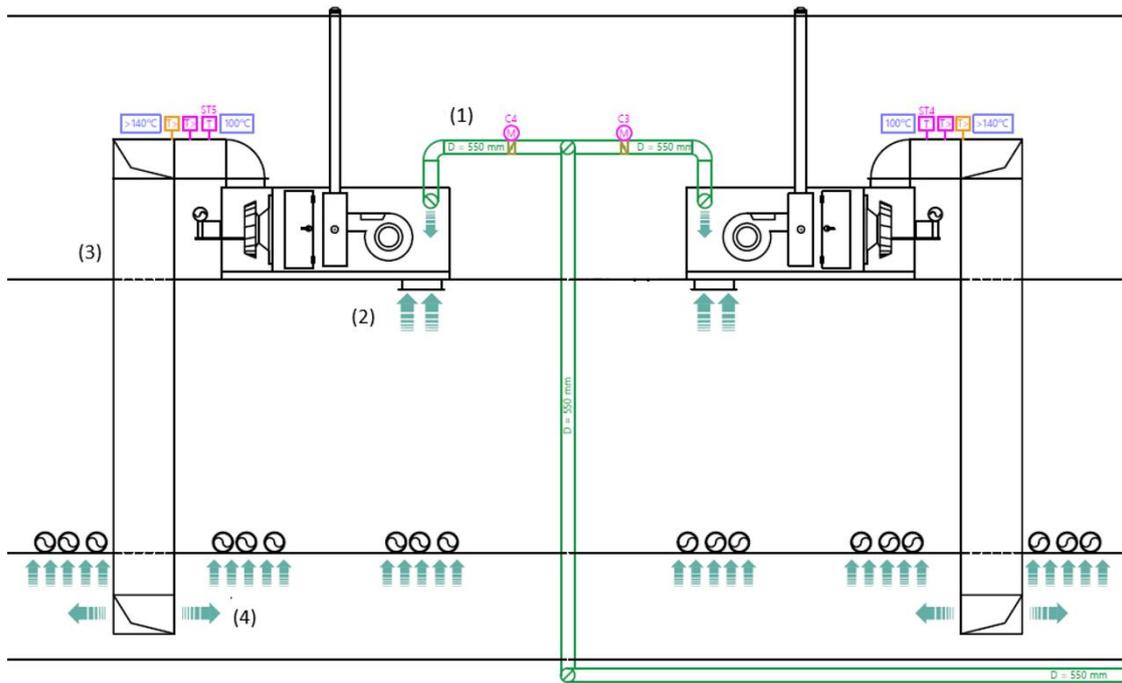


Ilustración 30: Esquema de la instalación y su funcionamiento (PARTE 2).

Cada división de la tubería tiene implementada una compuerta (C3 Y C4), con el fin de poder controlar la inyección de aire caliente necesario en la UTA1 y en la UTA2 y proporcionar la temperatura óptima a la estufa.

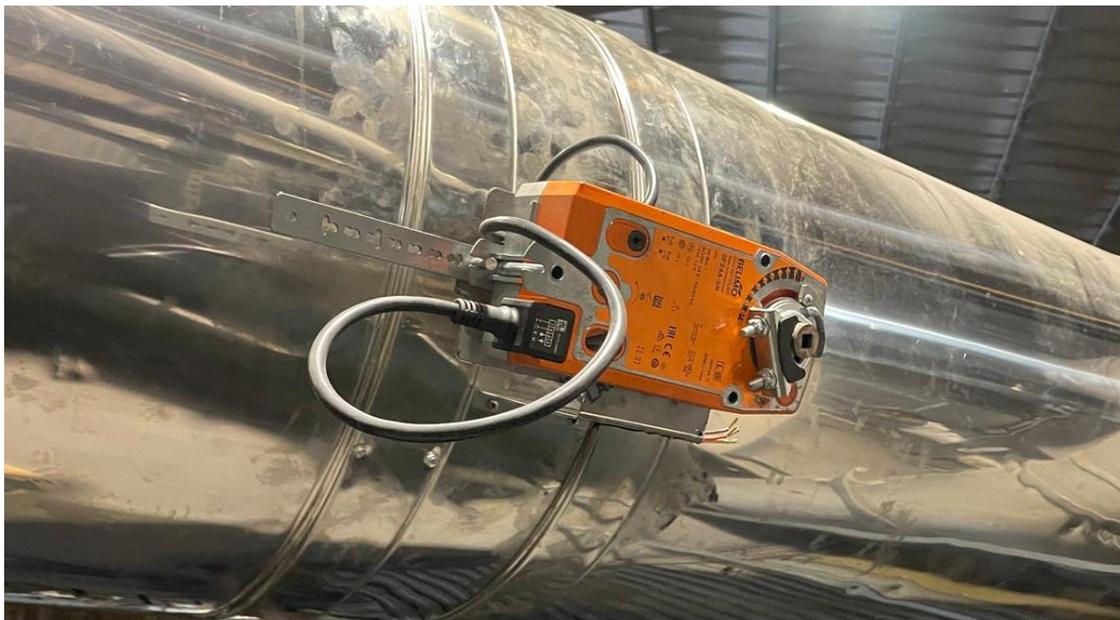


Ilustración 31: Válvula eléctrica automática capaz de regular la apertura de las compuertas.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

Debido a la existencia de estas compuertas cabe la posibilidad de deshabilitar uno de los dos aportes de calor, cerrando completamente la compuerta de la UTA correspondiente.

Al igual que ocurre con el funcionamiento del ventilador, si en algún momento por circunstancias extraordinarias del proceso, la temperatura leída en cualquiera de las 8 sondas de temperatura colocadas alrededor de la estufa sobrepasase los 100°C, el sistema está programado para dejar de funcionar, ya que son valores demasiado extremos para el óptimo secado de los tubos en la estufa, de esta manera se protege la instalación y el producto final de la entidad. Si esto ocurre, el aporte de calor en la estufa se llevará a cabo a través de los quemadores de gas.

6.2.1. Sistemas de seguridad.

6.2.1.1. Pirostatos de aire

Sobre la temperatura de impulsión del aire en las dos unidades de transferencia de calor (UTA1 Y UTA2), se dispondrán de dos pirostatos de aire, uno en cada UTA, tarados a una temperatura de 140°C, superior a la cuál no es óptimo trabajar. En consecuencia, si se superan los 140°C, el suministro eléctrico de ventilador y de los cuatro actuadores de las compuertas (C1,C2,C3 y C4) serán interrumpidos (los actuadores trabajan con bloques de seguridad NC, los cuales si se interrumpe la alimentación eléctrica cierran por completo las compuertas)

6.2.1.2. Parada de emergencia

La para de emergencia, que ya existe en la actualidad, está gestionada mediante un relé de seguridad "Pilz", lo que permite una actuación simultanea por control y mecánica.

En la actuación por control el relé informa de su estado al control y en caso de estar actuado llevará a "cero" la salida del ventilador y cerrará las compuertas (C1,C2,C3 y C4).

La actuación mecánica (seta de emergencia) interrumpirá el suministro eléctrico al ventilador y los actuadores de las cuatro compuertas (C1,C2,C3 y C4).

6.2.2. Condiciones de habilitación del sistema

Para poder trabajar de forma óptima y que sea posible habilitar el sistema se tienen que dar las tres condiciones siguientes:

- Al menos uno de los ventiladores de tiro forzado, asociado a una de las dos UTAs, tiene que estar encendido.
- El sistema de refrigeración de la zona 3 del horno tiene que estar en funcionamiento.
-
- El sistema de calentamiento de la estufa tiene que estar activado, mediante un pulsador específico de “Marcha – Potencia”, ubicado en el pupitre principal de trabajo del operario.

6.2.3. Condiciones de deshabilitación del sistema

En el caso de no darse las tres condiciones anteriores se deshabilitará el sistema y el aporte térmico a la estufa de barnizado se llevará a cabo a través de los quemadores de gas. Si esto ocurre se activará la petición “off” sobre el variador de frecuencia del ventilador y se cerrarán las cuatro compuertas motorizadas (C1, C2, C3 y C4).

Aparte, también se deshabilitará el sistema si se da cualquier valor fuera de rango, mencionados previamente, con los cuales, la instalación no debe trabajar.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

7. PRESUPUESTO.

7.1. INVERSIÓN INICIAL.

La mayor parte del desembolso económico que requiere el proyecto que se va a ejecutar recae en la inversión inicial, cuyo montante total asciende a la cantidad de 113.419,34 €.

Esta inversión inicial se corresponde con el coste total del presupuesto llave en mano de la constructora que se encarga de la construcción, instalación y puesta en marcha del proyecto. El presupuesto llave en mano garantiza una estimación completa de todos los costes asociados con el proyecto, desde el inicio de la instalación, hasta la entrega final, por lo tanto, cubre todos los aspectos del proyecto, sin costes adicionales.

A continuación, se desglosa en detalle el presupuesto del proyecto:

**RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO
TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO**

	tes, ...), así como medios materiales, auxiliares y mano de obra necesaria.			
Ud.	Suministro e instalación de pieza de transformación de circular (diámetro interior = 500mm) a rectangular para unir las compuertas de regulación y el ventilador a la red de conductos. Se incluyen los medios materiales auxiliares mano de obra.	10,00	1.021,49	10.214,86 €
Ud.	Suministro e instalación de ventilador centrífugo de simple aspiración, capacitado para trasegar aire a 400°C/2h y a 300°C en continuo, fabricados en chapa de acero protegida con pintura epoxi-poliéster anticorrosiva, rodete de acero galvanizado de álabes hacia adelante equilibrado dinámicamente y motor trifásico, IP55, Clase F, aislado del flujo de aire, para un caudal requerido de 8.000 m3/h y presión estática de 200 Pa. Se incluyen medios materiales, auxiliares y mano de obra.		2.791,50	2.791,50 €
Ud.	Suministro e instalación de compuerta rectangular de chapa de acero de dimensiones 600x630mm con actuador proporcional 24V (ACIDC) para la impulsión de aire caliente ensayadas en cumplimiento con EN12101-8 y EN 1366-10, Permite su funcionamiento con altas temperaturas de hasta 600°C. Se incluyen medios materiales, auxiliares y mano de obra.	1 roo	3.506,66	3.506,66 €
Ud.	Suministro e instalación de compuerta rectangular de chapa de acero de dimensiones 500x430mm con actuador proporcional 24V (ACIDC) para la impulsión de aire caliente ensayadas en cumplimiento con EN12101-8 y EN 1366-10. Permite su funcionamiento con altas temperaturas de hasta 600°C. Se incluyen medios materiales, auxiliares y mano de obra.	1,00	3.182,71	3.182,71 €
Ud.	Suministro e instalación de compuerta rectangular de chapa de acero de dimensiones 600x630mm para la impulsión de aire caliente ensayadas en cumplimiento con EN12101-8 y EN 1366-10. Permite su funcionamiento con altas temperaturas de hasta 600°C. Se incluyen medios materiales, auxiliares mano de obra.	2,00	3.006,39	6.012,77 €
Ud.	Suministro e instalación de sonda de temperatura, sensor de Pt100. incluye vaina de acero inoxidable 316L de L=150 mm, rosca RI/2". Rango de -70 a 450 °C. Protección IP68. Se incluyen medios materiales, auxiliares y mano de obra.	1,00	143,61	143,61 €

MÓNICA MATILLA CALVO

Ud.	<p>Suministro e instalación de caudalímetro, se incluyen los siguientes elementos: - Tubo Pitot</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transmisor de presión diferencial - Manifold de 2 vías - Kit de tornillos + juntas de acero. <p>Incluidos medios materiales, auxiliares y mano de obra.</p>		6.923,30	6.923,30 €
Ud.	<p>Instalación eléctrica y de control. Se incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suministro e instalación de cuadro eléctrico de fuerza y de control, con protección térmica y diferencial de los elementos consumidores. Relés, contactores, selectores, pilotos. Conforme al R.E.B.T. - Suministro e instalación de manguera RZI 06/1KV (AFUMEX = Libre de halógenos) bajo tubo protector, para la interconexión eléctrica entre elementos consumidores y el cuadro fuerza y de control. - Suministro e instalación de manguera RZI 06/1KV (AFUMEX= Libre de halógenos) bajo tubo protector, para la interconexión eléctrica entre elementos de control y el cuadro fuerza y de control. - Suministro e instalación de Bus Comunicaciones bajo tubo protector. 	1,00	3.415,50	3,415, 50 €
Ud.	<p>Puesta en marcha de la instalación, en base a protocolo específico de funcionamiento, en coordinación con la propiedad.</p>	1,00	1.327,70	1.327,70 €
Ud.	<p>Documentación final de Obra (Fichas de Equipos, Cálculos, Memoria de Funcionamiento, Planos</p>	1,00	1.659,63	1.659,63 €
	TELEMEDIDA/TELEGESTIÓN			6.428,57 €

TOTAL PRESUPUESTO

113.419,34 €

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

7.2. MANTENIMIENTO ANUAL.

A parte de la inversión inicial y con el fin de garantizar el mantenimiento y las revisiones de la instalación, se abonará, anualmente, la cantidad de 4.990€, que garantizan lo siguiente:

- Costes asociados a la operación y mantenimiento preventivo del sistema completo de recuperación térmica del calor residual desde la captación de calor en el horno, distribución y entrega del calor a la estufa, previamente explicado.
- Costes asociados al servicio de garantía total de los nuevos equipos instalados del sistema completo de recuperación térmica del calor residual desde la captación de calor en el horno, distribución y entrega del calor a la estufa, previamente descrito.
- Revisión anual de la instalación al completo.

8. CÁLCULOS Y RETORNO DE INVERSIÓN.

Para la realización de los cálculos y del retorno de inversión se han tenido en cuenta los siguientes datos de referencia, en base a los datos de trabajo de Saint - Gobain PAM España:

- Coste del consumo de gas (€/Nm³) = 0,51
- Precio de las emisiones de CO₂ (€/tnCO₂) = 100

8.1. SITUACIÓN PREVIA AL PROYECTO.

8.1.1. Importe anual del consumo de gas.

Según el escenario de referencia previo a la instalación del proyecto, el consumo anual de gas natural de la estufa de barnizado se corresponde con 160.228Nm³.

Este consumo da lugar a un coste anual de 81.716,28 €.

Consumo anual (Nm ³)	€/Nm ³ ref: 2024	€
160.228	0,51	81.716,28

8.1.2. Importe anual de las emisiones de CO₂.

Para el cálculo del importe anual de las emisiones de CO₂ es necesario conocer las toneladas de este dato a las que equivalen 160.228Nm³ de gas natural consumido al año.

El factor de emisión de CO₂ para el gas natural (kgCO/GJPCI), así como su PCI (GJ/Nm³) son datos que se encuentran en el anexo 7 del Inventario Nacional de Gases de Efecto invernadero (GEI) de 2024, en este caso:

- Factor de emisión del gas natural (kgCO/GJPCI): 56,04
- PCI del gas natural (GJ/Nm³): 0,03778

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

Combustible	Factor de emisión (kg CO ₂ /GJPCI) ⁽⁴⁾	PCI (GJ/t)
Hulla y antracita	98,30	26,70
Carbón coquizable	94,60	28,20
Carbón de importación	101,00	25,44
Carbón nacional	99,42	27,34
Coque	107,00	28,20
Coque de petróleo	97,50	32,50
Coque metalúrgico	107,00	28,20
Fuelóleo	77,40	40,40
Gasóleo	74,10	43,00
Gas natural ^(1, 2)	56,04	48,62
GLP genérico	63,10	47,30
Gas de refinería	57,60	49,50
Neumáticos ⁽³⁾	60,44	31,57
Serrín impregnado ⁽³⁾	53,95	13,13
Aceites usados	73,30	40,20
Disolventes	85,08	18,36

⁽¹⁾ El PCI también se puede expresar en relación al volumen, siendo su valor de 37,78 GJ/miles m³N.

⁽²⁾ Para el paso de PCS (poder calorífico superior) a PCI, en el gas natural se utiliza el factor de conversión de 0,901.

⁽³⁾ Los factores de emisión que se muestran están referidos a la fracción fósil de carbono contenida en el combustible.

⁽⁴⁾ Los factores de oxidación por defecto recogidos en la Guía IPCC 2006 asumen un factor de oxidación de 1 para todos los combustibles.

Figura 9: Tabla de los factores de emisión de CO₂ y poderes caloríficos por defecto para la combustión estacionaria por tipo de combustible utilizados en la edición 2024 del Inventario Nacional.

De esta manera, una vez aplicados los factores de conversión citados, las emisiones anuales en toneladas de CO equivalentes son 339,23TnCO/año.

PCI Gas Natural (GJ/Nm ³)	Consumo anual (Nm ³)	GJPCI anual
0,03778	160.228	6.053,41

GJPCI anual	Factor de emisión (kgCO/GJPCI)	kgCO equivalente anual	TnCO equivalente anual
6.053,41	56,04	339.233,311	339,23

MÓNICA MATILLA CALVO

Teniendo en cuenta entonces el precio asociado al mercado de las emisiones de GEI que afecta al marco de la empresa, que en este momento es de 100 euros por tonelada de CO equivalente emitida, el importe anual de las mismas es de 33.923€.

Emisiones anuales (tnCO2)	€/ tnCO2 ref: 2024	€
339,23	100	33.923

8.1.3. Importe anual total.

Por lo tanto, el coste anual total asociado al funcionamiento actual de la estufa de barnizado previo al proyecto es de 115.639,28€.

€ Consumo de gas	€ Emisiones de CO2	€ TOTAL
81.716,28	33.923	115.639,28

8.2. SITUACIÓN POSTERIOR AL PROYECTO.

Como consecuencia del aprovechamiento del calor residual del horno de tratamiento térmico en la estufa de barnizado, el consumo de gas de esta se va a reducir de manera considerable. Hay que tener en cuenta que, en situaciones excepcionales y extraordinarias, mencionadas anteriormente, el aporte de gas mediante quemadores seguirá siendo utilizado de manera auxiliar, por lo que el ahorro no va a ser del 100%.

Con la presente propuesta y teniendo en cuenta las situaciones anormales de fabricación, como los periodos de parada del horno en los que sea necesario barnizar, se garantiza un ahorro del 80% de gas respecto a la situación de referencia previa.

8.2.1. Importe anual del consumo de gas.

Debido al ahorro del 80% del gas que consume la estufa, el consumo anual de la misma una vez implantado el proyecto se corresponde con 32.045,6Nm³.

Este consumo da lugar a un coste anual de 16.343,256 €.

**RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO
TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO**

Consumo anual (Nm3) sin ahorro	Ahorro	Consumo anual (Nm3) con ahorro
160.228	0,8	32.045,6

Consumo anual con ahorro (Nm3)	€/Nm3 ref: 2024	€
32.045,6	0,51	16.343,256

8.2.2. Importe anual de las emisiones de CO₂.

El importe anual de las emisiones de CO equivalentes, posterior a la implementación del proyecto, el cual proporciona un ahorro del 80% del consumo, es de 6.784,6€.

Emisiones anuales (tnCO2) sin ahorro	Ahorro	Emisiones anuales (tnCO2) con ahorro
339,23	0,8	67,846

Emisiones anuales con ahorro (tnCO2)	€/ tnCO2 ref: 2024	€
67,846	100	6.784,6

8.2.3. Importe anual total.

8.2.3.1. *Importe anual total sin garantía y mantenimiento.*

Por lo tanto, el coste anual total asociado al funcionamiento de la estufa de barnizado una vez realizado el proyecto sin tener en cuenta el coste anual de mantenimiento y garantía presupuestado es de 23.128,126€.

MÓNICA MATILLA CALVO

€ Consumo de gas	€ Emisiones de CO2	€ TOTAL
16.343,256	6.784,6	23.128,126

8.2.3.2. *Importe anual con garantía y mantenimiento.*

Al coste anual hay que añadirle el coste anual de mantenimiento y garantía, que asciende, según presupuesto, a 4.990€/año, por lo que finalmente, una vez instalado el proyecto, el coste anual del funcionamiento de la instalación será de 28.118,126€.

€ Consumo de gas	€ Emisiones de CO2	€ TOTAL
23.128,126	4.990	28.118,126

8.3. AHORRO ANUAL.

Para el cálculo anual del ahorro se debe considerar la diferencia del importe total sin ahorro y con ahorro, así como el servicio anual de mantenimiento y garantía que se abona a la empresa escogida para realizar la instalación (dato presupuestado), ya contabilizado previamente.

De esta manera, el ahorro anual asciende a la cifra de 87.521,154€/año:

Coste anual sin proyecto (€)	Coste anual con proyecto (€)	Ahorro anual (€)
115.639,28	28.118,126	87.521,154

8.4. RETORNO DE LA INVERSIÓN.

El retorno de la inversión (ROI) es una métrica financiera que se utiliza con el fin de evaluar la rentabilidad y eficiencia de las inversiones realizadas, con relación a su coste.

Para su cálculo, en años, hay que tener en cuenta el valor de la inversión inicial realizada para la ejecución, instalación y puesta en marcha del proyecto y dividirlo entre el ahorro anual calculado, el cual incluye el coste de mantenimiento y garantía de la instalación.

**RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO
TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO**

- Inversión inicial (€): 113.419,34 €
- Ahorro anual (€): 87.521,154€/año

Inversión inicial (€)	Ahorro anual (€/año)	ROI (años)
113.419,34	87.521,154	1,30

Por lo tanto, el retorno de inversión del proyecto es de 1,3 años.

9. CONSIDERACIONES FINALES.

Una vez concluidos los cálculos del ahorro final en cuanto al consumo y emisiones, posteriormente a la implantación del proyecto y teniendo en cuenta también la parte correspondiente al comercio de mercado de emisiones, se puede concluir con la apreciación de una reducción elevada de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la situación previa, lo que se traduce en una reducción anual de los costes que afronta la entidad para producir.

Hay que tener en cuenta que, aunque en un primer instante este proyecto, y la mayoría de las implantaciones que se ejecutan a nivel industrial en materia de eficiencia energética en la actualidad, van dirigidos principalmente a la reducción y/o a la eliminación de las emisiones de gases de efecto invernadero, cabe destacar que no es el único beneficio visible y destacable de esta tecnología.

Como se ha podido comprobar, la eficiencia energética es una oportunidad empresarial que va más allá de la reducción de las emisiones de GEI, ya a través del ahorro generado, permite disminuir los costes de producción por unidad de producto final que se generan. Además, la implantación de estos proyectos también se consideran una oportunidad de imagen de cara al cliente, a quien se muestra, a través de este tipo de proyectos, el compromiso de la entidad con la descarbonización y la transición energética.

En conclusión, a través de la ejecución de este proyecto se corrobora la importancia del papel que tiene la implementación de tecnologías de eficiencia energética como puente hacia la transición energética, sobre todo en el ámbito industrial, en el cual las soluciones de eficiencia energética son una herramienta clave para la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, condición actual necesaria para que las industrias puedan seguir evolucionando y produciendo.

RECUPERACIÓN TÉRMICA DEL CALOR RESIDUAL PROCEDENTE DEL HORNO DE TTO TÉRMICO PARA SU USO EN ESTUFA DE BARNIZADO

10. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] AITESA. (s.f.). *APH - Air Preheaters - Precalentadores de aire*. Obtenido de <https://aitesa.es/aph-precalentadores-aire/>
- [2] Ciucci, M. (Marzo de 2024). *LA EFICIENCIA ENERGÉTICA - Fichas técnicas sobre la Unión Europea - 2024*. Obtenido de https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU_2.4.8.pdf
- [3] Ministerio Para La Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (Marzo 2024). *Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. España. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-nir-edicion-2024.pdf>
- [4] Ministerio Para La Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.html>
- [5] Ministerio Para La Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Inventario nacional de Emisiones de GEI (serie 1990-2021). Anexo 7. Factores de emisión de CO2 y PCI de los combustibles*. España. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/NIR_Anexo7_2024.pdf
- [6] *El comercio de derechos de emisión*. (s.f.). Obtenido de Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/que-es-el-comercio-de-derechos-de-emision.html>
- [7] energía, C. -C. (2009). *Beneficios del aislamiento térmico en la industria*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93853/aislamiento.pdf>
- [8] FIVEMASA. Filtración, v. e. (2005). *Modificación de estufa de secado - Manuál de instrucciones y mantenimiento*. Bilbao, España: Fivermasa.
- [9] G. POMPIDOR, F. L. (1993). *Bilan fours de Santander (FUNDITUBO). Diagnostic des conditions de traitement thermique. Peaux d'oxide*. Pont-a-Mousson, France: Centre de recherches de Pont-a-Mousson.

- [10] Gómez, J. F. (2021). *Eficiencia Energética en el Sector Industrial*. Orkestra - Instituto Vasco de Competitividad - Fundación Deusto. Obtenido de <https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/210005-Eficiencia-Energ%C3%A9tica-Sector-Industrial-INFORME-COMPLETO-.pdf>
- [11] Kelly, F. T. (s.f.). *Bombas de Calor en Aplicaciones Industriales*. THERMAL ENGINEERING LTDA. Obtenido de https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/Bombas-de-Calor-para-aplicaciones-industriales.pdf
- [12] Mg., Á. A. (Junio 2011). *Cogeneración - Una alternativa importante de ahorro energético nacional*. La técnica. Obtenido de [file:///C:/Users/M6455334/Downloads/Dialnet-CogeneracionUnaAlternativaImportanteDeAhorroEnergie-6087705%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/M6455334/Downloads/Dialnet-CogeneracionUnaAlternativaImportanteDeAhorroEnergie-6087705%20(1).pdf)
- [13] S.A., A. L. (s.f.). *Ciclo orgánico de Rankine (ORC)*. Obtenido de <https://www.alfalaval.es/industrias/energia-e-industria/sustainable-solutions/soluciones-sostenibles/eficiencia-energetica/recuperacion-calor-residual/ciclo-rankine-orc/>
- [14] SAINT-GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S. (s.f.). *Eficiencia Energética en la Industria - Cómo ahorrar energía a través del aislamiento industrial*. Obtenido de <https://www.isover.es/documents/catalogos-manuales-y-guias/eficiencia-energetica-industria.pdf>