

Sustainable Production of Industrial Recovered Energy using dissipative and storage technologies (SUSPIRE)

A. Sainz-Trapaga¹, I. Arrizabalaga²

1 Ane Sainz-Trapaga: Aliendalde Auzunea, 6 48200-Durango (Bizkaia). asainztrapaga@telur.es
2 Iñigo Arrizabalaga: Aliendalde Auzunea, 6 48200-Durango (Bizkaia). iarrizabalaga@telur.es

Resumen: Este artículo versa sobre el proyecto SUSPIRE financiado por el programa europeo H2020. El consorcio del proyecto está formado por 6 empresas y 3 centros tecnológicos. Las entidades participantes están repartidas entre España, Alemania, Austria, Lituania, Reino Unido e Italia. La duración del proyecto es desde octubre 2015 hasta septiembre 2018.

El objetivo principal es la recuperación de calor excedentario en una planta de fabricación a fin de reducir el consumo energético de la misma. En concreto, los desarrollos se implantarán en la empresa PCB, fundición de aleaciones especiales para la fabricación de piezas del sector aeronáutico, ubicada en Barakaldo (Bizkaia).

La instalación se compone de dos sistemas de recuperación de calor, uno de alta y otro de baja temperatura. El almacenamiento térmico tiene una relevancia clave, debido a que la producción en planta y el consumo térmico en forma de demanda de calefacción, no son coincidentes en el tiempo. El almacén térmico está compuesto por dos campos de intercambiadores geotérmicos verticales, uno de ellos destinado a almacenaje en alta temperatura y otro que se utilizará en baja temperatura.

Palabras clave: recuperación calor, renovables industria, almacenamiento térmico

1. INTRODUCCIÓN

La instalación en su conjunto, se compone de dos sistemas de recuperación de calor residual: el de alta temperatura y el de baja temperatura. El sistema de alta temperatura recuperará calor de los gases de escape de un horno de precalentamiento de moldes, con una temperatura máxima de gases en chimenea de 950°C y el de baja temperatura del circuito de refrigeración de inyectoras y horno de inducción y de la refrigeración de dos naves donde se realizan parte del proceso de fabricación (sala cerámicos y sala de ceras).

La energía recuperada se destinará para uso de calefacción de naves y oficinas, ACS, fusión de cera, precalentamiento de lingotes y envío de calor para suplir necesidades térmicas de terceros.

El sistema de recuperación estará conectado con un almacén térmico en el terreno, sistema de geointercambio compuesto por sondeos verticales en circuito cerrado (BTES). Así se permitirá la adecuación de los periodos de carga térmica del almacén y los periodos de utilización de calor recuperado. El campo de almacenamiento térmico estará también dividido en dos niveles térmicos, alta y baja temperatura, que se corresponderán con los respectivos sistemas de recuperación. El papel de Telur dentro del proyecto es el diseño, dimensionamiento y ejecución del circuito de intercambio geotérmico, unido a una bomba de calor, así como del sistema de recuperación de baja temperatura (45°C) e integración del mismo con el de alta temperatura (90°C).

Además de almacenamiento térmico en el terreno, también se dará un almacenamiento de calor recuperado en materiales de cambio de fase (PCM) orgánicos e inorgánicos.

El objetivo cuantitativo de ahorros es el 20% del consumo energético de la planta, con una recuperación del 70% de los calores residuales disponibles en planta.

2. PROCESO PRODUCTIVO

En el siguiente diagrama se recoge de manera básica el proceso productivo de la planta de fundición que nos ocupa. Se han situado los focos de calor residual, donde se prevé la instalación de los dispositivos de recuperación de calor para su posterior reutilización.

No obstante, la planta de fabricación dispone de un mayor número de focos de generación de calor residual, los cuales no son objeto de este proyecto.

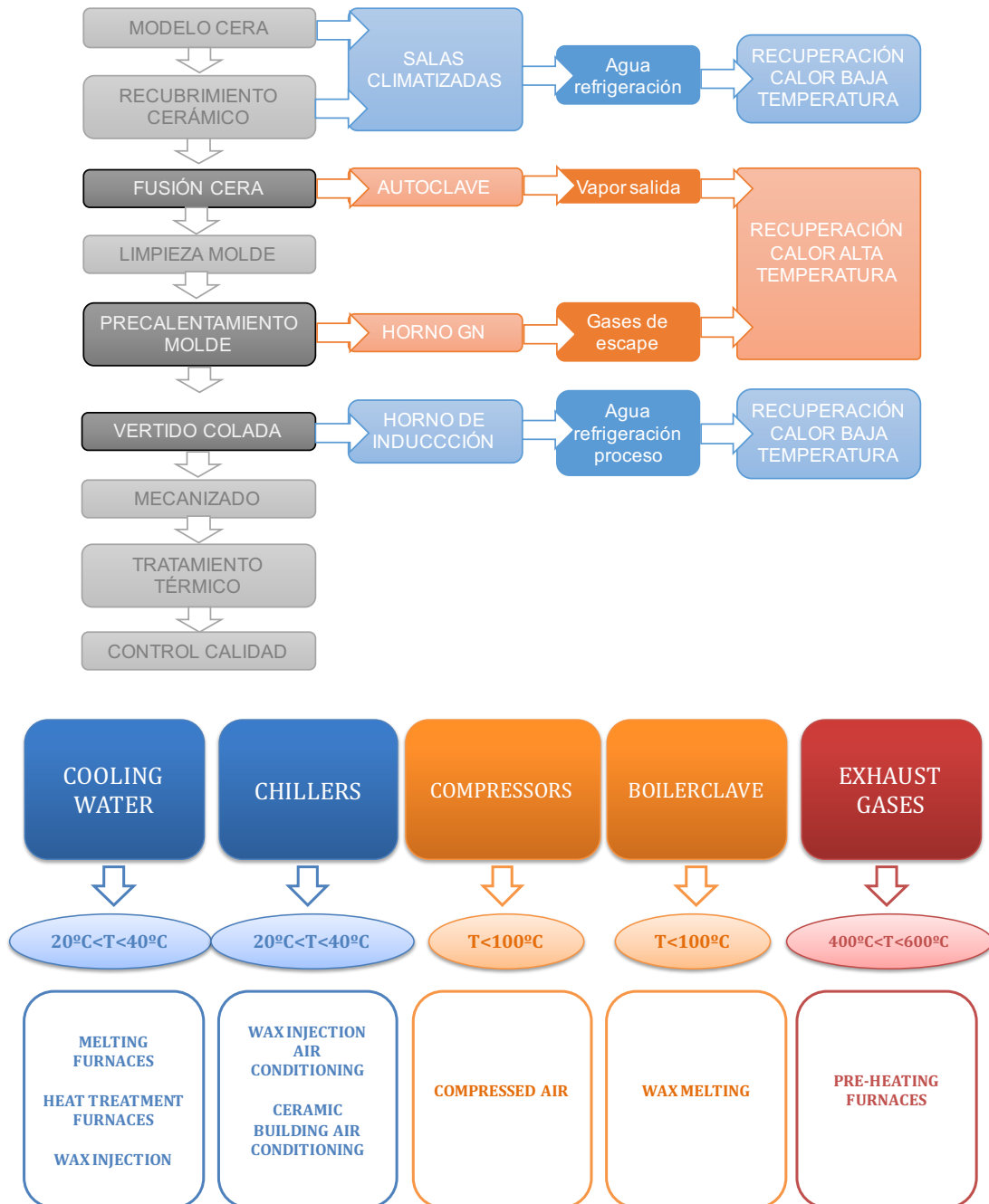


Figura 1. Focos de recuperación de calor

3. FOCOS DE RECUPERACIÓN DE CALOR

3.1. REFRIGERACIÓN SALAS

En la sala de ceras y en la de cerámicos existe un control de temperatura y humedad para mantener constantes estas variables en valores óptimos para el proceso productivo.

Existe una climatizadora dedicada a cada una de las salas. Las baterías de ambas están conectadas con un grupo de calderas de gas natural y con enfriadoras aire-agua.

La demanda anual en refrigeración para las salas de ceras y cerámicos se ha estimado en 1.393.000 kWh. Para obtenerla se ha partido de los datos de consumo eléctrico monitorizado de las enfriadoras.

3.2. HORNO DE PRECALENTAMIENTO DE MOLDES

PCB cuenta con 3 hornos de precalentamiento. No obstante, el alcance de este proyecto comprende la recuperación de calor de los gases de escape únicamente de uno de los hornos.

Todos los hornos cuentan ya con un precalentador de aire, es decir, el flujo de salida de gases de la combustión, precalienta el aire comburente de entrada al quemador del horno. Así se consigue elevar la temperatura del aire aproximadamente 280°C, desde la temperatura hasta 300°C.

Se ha evaluado el potencial de calor residual existente en la salida de gases del horno. Para ello, se han realizado las siguientes mediciones:

- Temperatura de salida de gases a distintas temperaturas de trabajo del horno
- Análisis de la combustión a distintas temperaturas de trabajo del horno

A su vez, se ha estudiado cuál es el régimen de carga del horno a lo largo de un año. En total el horno trabaja 6.500 horas anuales.

El objetivo de los cálculos es obtener la potencia térmica máxima en los gases de escape y el calor residual en gases a la salida del horno.

Con temperatura máxima de trabajo en el horno, la potencia disponible en gases de escape es de 146 kW suponiendo que se desciende la temperatura de gases de escape hasta 150°C. Anualmente se tendrán disponibles 514.944 kWh.

3.3. REFRIGERACIÓN DE PROCESO

En la actualidad la refrigeración de proceso es requerida en 3 puntos:

- Bobinados de hornos de inducción
- Hornos de tratamiento térmico
- Inyectoras de cera

La planta cuenta con un anillo refrigerado mediante torres de refrigeración. Se ha monitorizado la entrada y salida de torres de refrigeración a fin de conocer cuál es la energía anual disipada en las mismas. Se ha medido el caudal circulante en el circuito e torres

El esquema básico del anillo de refrigeración es:

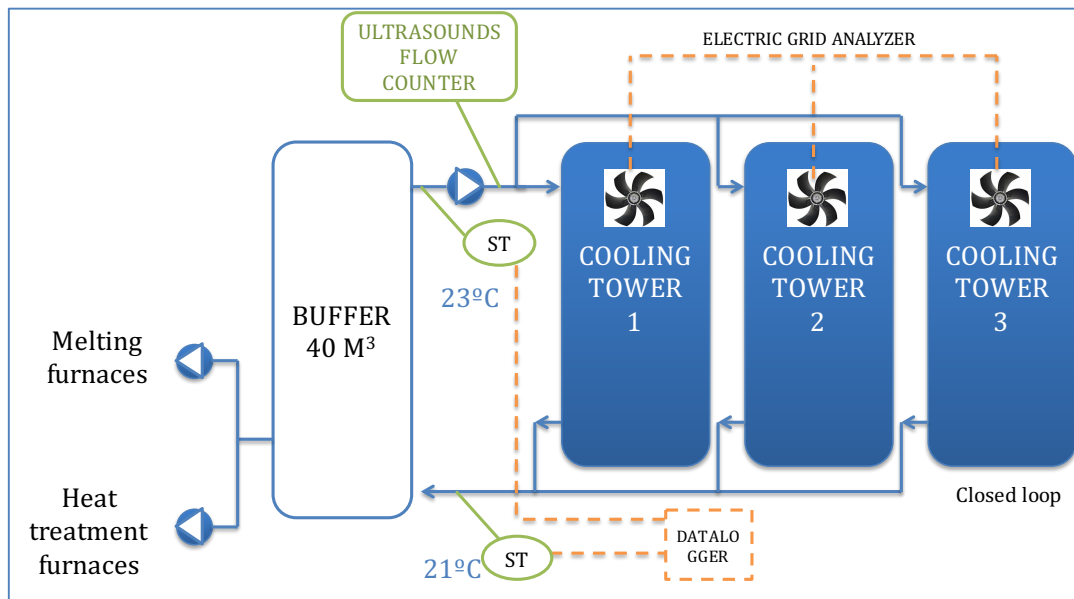


Figura 2. Anillo de refrigeración

La demanda anual disipada actualmente por las torres de refrigeración es de 2.627.000 kWh. La potencia de disipación toma valores inferiores a 200 kW el 28% del tiempo a lo largo del año; valores entre 200 y 400 kW el 49% del tiempo y valores superiores a 400 kW el 23% del tiempo

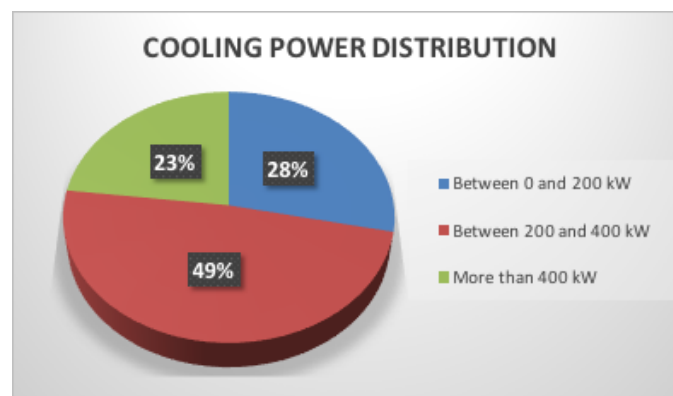


Figura 3. Potencias de disipación

4. DEMANDAS TÉRMICAS

4.1. DEMANDA DE CALEFACCIÓN. CLIMATIZACIÓN SALAS

Para la planta existe una producción de calor mediante dos calderas de natural, las cuales dan servicio a calentamiento de sala de cerámicos, sala de ceras, aerotermos de planta y agua caliente sanitaria.

Por otro lado, también existe una demanda de calor en el edificio de oficinas, proporcionada en la actualidad desde una bomba de calor aire-agua.

El calor residual recuperado tras el desarrollo de este proyecto, será utilizado para proporcionar la demanda base de calefacción usado para climatización

4.2. DEMANDA DE CALEFACCIÓN. PROCESO

De todos los requerimientos de calor dentro del proceso productivo, desde el sistema de recuperación de calor de alta temperatura, se han definido los siguientes aprovechamientos como factibles, dentro del alcance de este proyecto:

- Fusión de cera de una de las inyectoras
- Precalentamiento de lingotes antes de su entrada en el horno de fusión
- Precalentamiento de agua de alimentación del autoclave.

Cuantitativamente las demandas de calor calculadas serían:

- Calefacción salas y oficinas y ACS: 875.400 kWh/año
- Fusión de cera y precalentamiento de lingotes: 21.300 kWh/año

5. AHORROS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS SISTEMA BAJA TEMPERATURA

El sistema de recuperación de calor en baja temperatura, constituido principalmente por una bomba de calor agua-agua y un circuito de intercambio geotérmico vertical en circuito cerrado, el cual será utilizado estacionalmente como almacenamiento de energía térmica en época estival y uso de calefacción en invierno.

Las entradas de calor al sistema procederán de:

- Circuito de torres de refrigeración, el cual está disipando en continuo el exceso de calor generado en los hornos de fusión y hornos de tratamiento térmico
- Circuito de intercambio geotérmico
- Circuito de refrigeración de sala de cerámicos y de ceras.

Las salidas de calor, o lo que es lo mismo, los requerimiento de calor abastecidos:

- Calefacción de sala de ceras y cerámicos
- Calefacción de oficinas
- Precalentamiento de ACS

El esquema de producción actual sería:

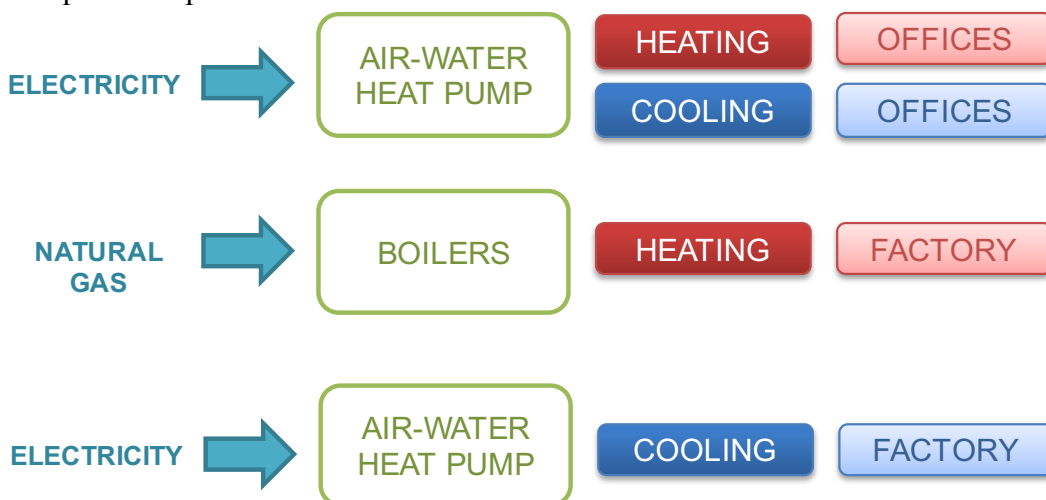


Figura 4. Esquema de producción actual frío/calor

Y el esquema de producción futuro, donde con la bomba de calor agua-agua, se abastecerá en simultaneidad necesidades de refrigeración y de calefacción, aprovechando los buenos rendimientos del sistema para estas situaciones:

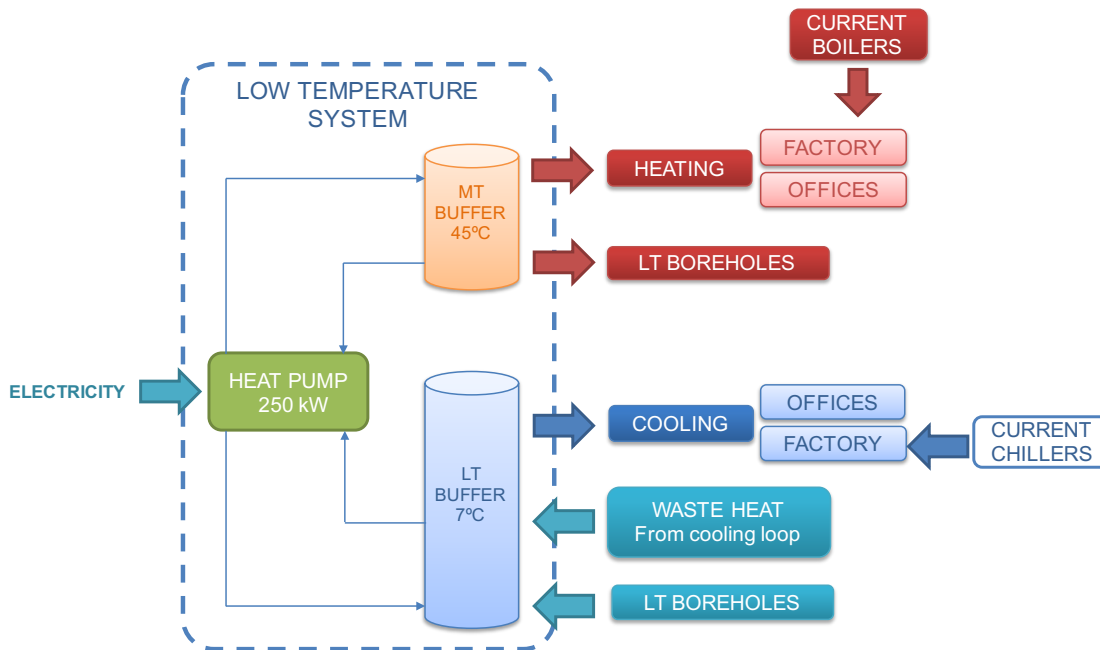


Figura 5. Integración de sistema de intercambio geotérmico en esquema actual

Por tanto, la demanda base de calefacción, y preferiblemente de refrigeración de salas y oficinas (dado que el rendimiento de las enfriadoras actuales es inferior al proporcionado por el sistema geotérmico) será abastecida desde el nuevo sistema implantado.

A continuación se muestran los ahorros calculados en los que incurrirá PCB una vez esté implantado el sistema.

Se ha calculado qué parte de la energía térmica podrá ser abastecida por el sistema de intercambio geotérmico y recuperación de calor. El resto de los requerimientos en momentos punta, serán proporcionados por los elementos convencionales actuales (calderas y enfriadoras) y desde el sistema de recuperación de alta temperatura.

Tabla I. Ahorro económico sistema recuperación baja temperatura

DEMANDA CALEFACCIÓN/REFRIGERACIÓN	SISTEMA ACTUAL		SISTEMA IG	
	Calefac	Refrig	Calefac	Refrig
Calderas (kWht)	876.415	---	181.095	---
Enfriadoras convencionales (kWht)	---	1.393.320	---	825.587
Cobertura sistema IG (kWht)	---	---	695.320	567.733
(%)	---	---	79%	41%
Cobertura sistema IG total (kWht)	2.269.735		1.263.053	
(%)			56%	
AHORRO ECONÓMICO	SISTEMA ACTUAL		SISTEMA IG	
	Calefac	Refrig	Calefac	Refrig
Consumo gas natural (kWht)	1.145.640	---	236.725	---

Consumo electricidad enfriadoras (kWhe)	---	696.660	---	412.793
Consumo electricidad sistema IG (kWhe)	---	---	173.830	111.959
Coste de operación (€/año)		95.830		64.172
AHORRO ECONÓMICO (€/año)		---		31.658
		---		33%

En la figura 6 se muestra el porcentaje de energía proporcionado por cada tecnología y su repercusión en el coste de operación:

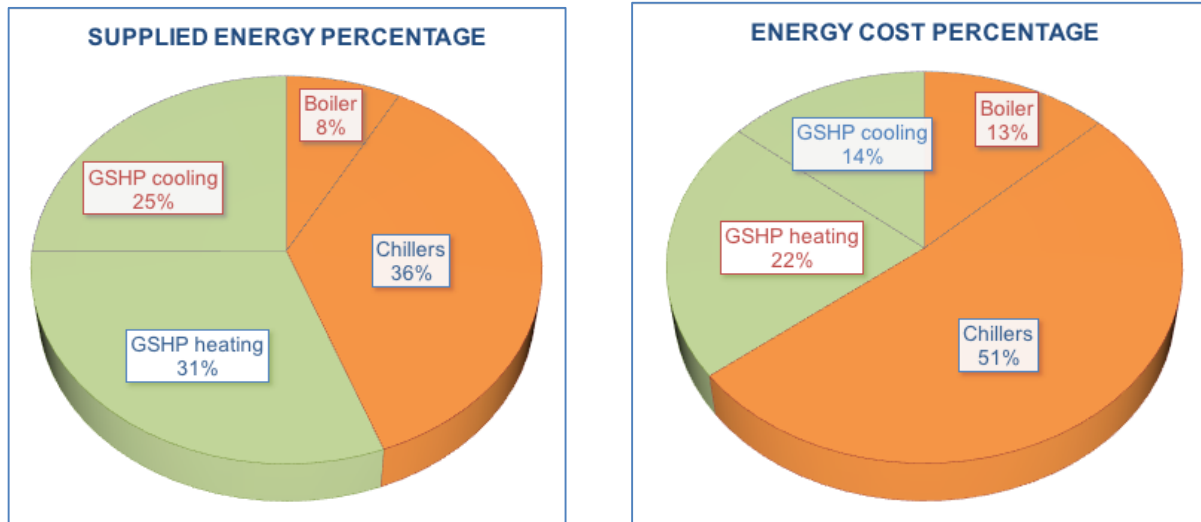


Figura 6. Porcentaje de energía dada por cada fuente de energía y repercusión en coste operación

Por tanto, se observa que el 56% de las demanda de calefacción y refrigeración, serán proporcionadas desde el sistema de intercambio geotérmico, lo cual implica únicamente un coste equivalente al 36% del total para las mismas.

El ahorro en energía primaria, y emisiones de CO₂ evitadas sería:

Tabla II. Ahorro energía primaria y emisiones evitadas

AHORRO ENERGÍA PRIMARIA		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA IG
2,403 MWh EP/ MWhe	(MWh / año)	3.043	1.962
1,195 MWh EP / MWh pcs GN	Savings (MWh/año)		1.082
	Savings (%)		36%
EMISIONES CO₂ EVITADAS		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA IG
0,357 t CO ₂ /MWhe	(t CO ₂ / año)	537	309
0,252 t CO ₂ / MWh pcs GN	Savings (tCO₂/year)		228
	Ahorro (%)		42%

6. AHORROS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS SISTEMA ALTA TEMPERATURA

6.1. FUSIÓN DE CERA

Proporcionando la energía necesaria para la fusión de cera de una de las inyectoras de planta desde el sistema de recuperación de alta temperatura, evitando así el consumo eléctrico actual de resistencias eléctricas utilizadas para este objeto, los ahorros conseguidos serían:

Tabla III. Ahorros fusión de cera

FUSIÓN CERA		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN ALTA TEMPERATURA
Consumo energía eléctrica	(kWh/año)	12.445	0
Ahorros económicos	(€/año)		996
Ahorros energía primaria	(MWh/año)		30
Emisiones CO₂ evitadas	(t CO₂ /año)		4,4

6.2. PRECALENTAMIENTO LINGOTES

De la misma manera, si desde el sistema de recuperación de alta temperatura se precalientan los lingotes, antes de ser introducidos en el horno de fusión, los ahorros que se generarían son:

Tabla IV. Ahorros precalentamiento lingotes

PRECALENTAMIENTO LINGOTES		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN ALTA TEMPERATURA
Consumo gas natural	(kWh pcs/año)	24.333	0
Ahorros económicos	(€/año)		852
Ahorros energía primaria	(MWh/año)		29
Emisiones CO₂ evitadas	(t CO₂ /año)		6,1

6.3. APOYO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de recuperación de alta temperatura está también conectado con el sistema de baja temperatura. Se utilizará como apoyo a la producción de la bomba de calor, en primer lugar antes de que entren las calderas en funcionamiento.

La energía pendiente de suministrar para calefacción, después del uso de la bomba de calor sería:

Tabla V. Energía requerida como apoyo a la calefacción

Calefacción (planta + oficinas)		
Demanda de calefacción	(kWh/año)	876.415
Cobertura sistema de recuperación de baja T	(kWh/año)	695.320
Demanda pendiente	(kWh/año)	181.095

El ahorro en el sistema de climatización:

Tabla VI. Ahorro sistema climatización

CLIMATIZACIÓN		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN ALTA TEMPERATURA
Consumo gas natural	(kWh pcs/año)	236.725	0
Ahorros económicos	(€/año)		8.285
Ahorros energía primaria	(MWh/año)		283
Emisiones CO₂ evitadas	(t CO₂ /año)		59,7

7. EXCEDENTE DE ENERGÍA

Después del uso de la energía recuperada en la propia planta, para las demandas descritas, existirá un excedente de temperatura adicional. Por tanto cabría la posibilidad de continuar revalorizando el calor residual cediendo el mismo a una consumidor fuera de la parcela de la fábrica. Existen varios edificios en las inmediaciones de la planta susceptibles de recibir este calor residual para abastecer sus necesidades de calefacción.

Tabla VII. Excedente de energía

HIGH TEMPERATURE SYSTEM REMAINING ENERGY		
Energía disponible	(kWh/año)	514.944
Estimación de energía recuperada (50%)	(kWh/año)	257.472
Energía excedentaria	(kWh/ año)	39.599
LOW TEMPERATURE SYSTEM REMAINING ENERGY		
Energía disponible en circuito de refrigeración	(kWh/ año)	2.627.005
Energía destinada al circuito de recuperación de baja T	(kWh/ año)	260.745
Energía excedentaria	(kWh/ año)	2.366.260

Tabla VIII. Ahorro para terceros

DEMANDA CALEFACCIÓN		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN
Calderas	(kWht)	2.295.000	
Uso directo	(kWht)		39.599
Calor recuperado en baja T	(kWht)		2.255.401
AHORRO ECONÓMICO		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN
Consumo gas natural	(kWhpcs)	3.000.000	0
Consumo energía eléctrica	(kWh)		751.800
Coste de operación	(€/año)	105.000	60.144
AHORRO ECONÓMICO	(€/año)		44.856
	(%)		43%
AHORRO ENERGÍA PRIMARIA		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN
Consumo energía primaria	(MWh/año)	3.585	1.807
Ahorro energía primaria	(MWh/año)		1.778
	(%)		50%
EMISIONES CO ₂ EVITADAS		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA RECUPERACIÓN

Emisiones CO ₂	(t CO ₂ /año)	756	268
Emisiones CO ₂ evitadas	(t CO ₂ /año)		488
	(%)		64%

8. AHORRO TOTAL

Tabla IX. Ahorro económico TOTAL

COSTE DE OPERACIÓN		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA SUSPIRE
HVAC BAJA T	(€/year)	95.830	64.172
FUSIÓN CERA	(€/year)	996	0
PRECALENTAMIENTO LINGOTES	(€/year)	852	0
HVAC ALTA T	(€/year)	8.285	0
TERCERAS PARTES	(€/year)	105.000	60.144
COSTE OPERACIÓN	(€/year)	210.963	124.316
AHORROS	(€/year)		86.647
	(%)		41%

Tabla X. Ahorro energía primaria TOTAL

ENERGÍA PRIMARIA		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA SUSPIRE
HVAC BAJA T	(MWh/año)	3.043	1.962
FUSIÓN CERA	(MWh/ año)	30	0
PRECALENTAMIENTO LINGOTES	(MWh/ año)	29	0
HVAC ALTA T	(MWh/ año)	283	0
TERCERAS PARTES	(MWh/ año)	3.585	1.807
ENERGÍA PRIMARIA	(MWh/ año)	6.970	3.768
AHORROS	(MWh/ año)		3.202
	(%)		46%

Tabla XI. Emisiones evitadas TOTAL

CO ₂ EMISSIONS		SISTEMA ACTUAL	SISTEMA SUSPIRE
HVAC BAJA T	(tCO ₂ / año)	537	309
FUSIÓN CERA	(tCO ₂ / año)	4	0
PRECALENTAMIENTO LINGOTES	(tCO ₂ / año)	6	0
HVAC ALTA T	(tCO ₂ / año)	60	0
TERCERAS PARTES	(tCO ₂ / año)	756	268
EMISIONES CO₂	(tCO₂/ año)	1.364	577
AHORROS	(tCO₂/ año)		786
	(%)		58%

9. REFERENCIAS

1. Telur Geotermia y Agua, S.A. Abril de 2017 (Suspie project “Deliverable D 4.5 Theoretical Economical & Technical study of energy recovery”