

CIRCE Centro Tecnológico

**ITP: Tecnologías para
utilizar la energía residual
industrial en el sistema
energético**

Mayo 2021

www.fcirce.es Síguenos en:





Plataforma
tecnológica española de
eficiencia energética

PTE-ee: Iniciativa Tecnológica Prioritaria 2020(ITP)

DESARROLLAR Y MEJORAR LAS TECNOLOGÍAS PARA UTILIZAR LA ENERGÍA RESIDUAL INDUSTRIAL, INCLUYENDO SU CONVERSIÓN EN OTROS VECTORES QUE PUEDAN SER COMERCIALIZADOS EN EL SISTEMA ENERGÉTICO

Autores

Teresa Márquez (AEINNOVA)

Manuel Andrés Chicote (CARTIF)

Eduardo Rodríguez, Lucía Poceiro, Yarima Torreiro (ENERGYLAB)

Nelson García-Polanco, Patricia Royo, Andrea Hernández (FUNDACIÓN CIRCE)

Mercedes Gómez de Arteche, Asier Martínez, Asier Maiztegi (TECNALIA)

Marta Antón Sutil, Miguel Ángel Vega (TÉCNICAS REUNIDAS)

Coordinador

Guillermo José Escobar (PTE-ee)



CIRCE is energy

25 YEARS OF R&D&i SERVICE TO COMPANIES,
THE SOCIETY AND THE ENVIRONMENT



MISSION

To improve the competitiveness of **companies** by generating and transferring **technology** through market-oriented R&D&i and training activities in the field of sustainability and resource efficiency, energy networks and renewable energies.



VISION

- International **reference** in energy.
- Investment **multiplier** in R&D&i.
- Focus on **talent**.
- Generator of ideas and **solutions**. Innovative and competitive.



VALUES

- **Quality** and agility
- **Commitment** and responsibility
- Passion for challenge and **innovation**
- **Transparency**
- Enthusiasm for **collaborative** work
- **Vocation** for economic, social and environmental sustainability

We are a technology centre funded in 1993, seeking to provide innovative solutions for a **SUSTAINABLE DEVELOPMENT**.

Our research centre consists of a highly qualified and multidisciplinary team, composed by **more than 185 professionals**.

We work towards improving the competitiveness of enterprises through **generation of technology transfer** by means of R+D activities and market-oriented training within the field of resource sustainability and effectiveness, energy grids and renewable energies.



Pacto Mundial
Red Española



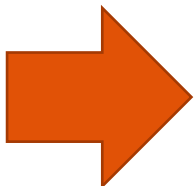
Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP): Tecnologías de recuperación de calor residual

Tecnologías estudiadas:

- Bombas de calor
- Transformadores de calor por absorción
- Calefacción de distrito
- Recuperación de frío de la vaporización de gas natural licuado
- Ciclo de Rankine Orgánico
- Tecnologías termoeléctricas
- Sistemas de almacenamiento de energía térmica
- Conversión de la energía a gases renovables



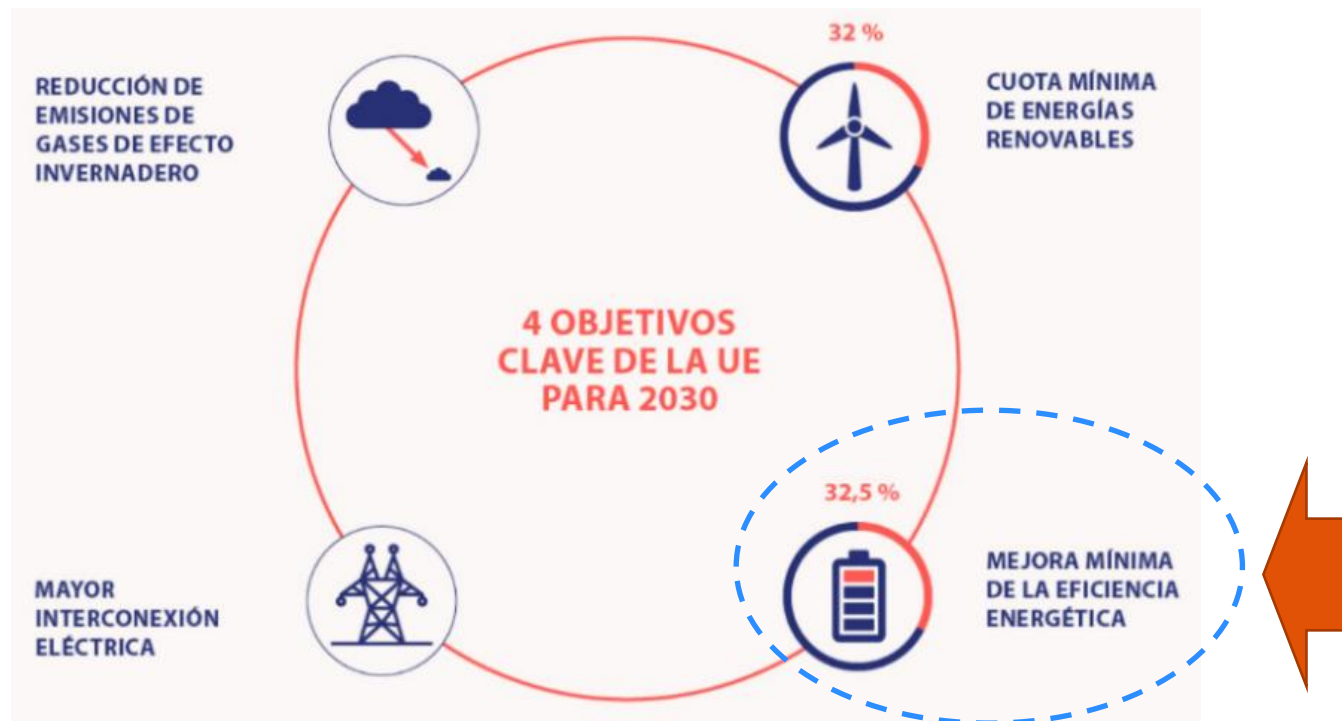
LINK



[Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética
\(pte-ee.org\)](http://pte-ee.org)

Objetivo de la ITP

- Analizar el potencial de aprovechamiento de la energía residual industrial en España
- Describir las tecnologías más relevantes en el contexto nacional para su recuperación, utilización y conversión a otros vectores energéticos, como electricidad o gases renovables
- Destacar su relevancia en la reducción del impacto medioambiental de los procesos industriales y, por lo tanto, en la transición hacia una economía neutra en carbono



Principales objetivos de la Unión de la Energía
(Fuente: Consejo de la Unión Europea)

Evaluación de la demanda de frío y calor en España

Consumo de energía

El sector industrial nacional representa un cuarto de la energía final total consumida. Y parte de esa energía se convertirá finalmente en calor residual.

Demanda térmica

Uso	Demanda sistemas analizados (GWh)	Demanda nacional año base (GWh)
Calefacción y ACS	135.728	408.019
Refrigeración	24.609	51.818

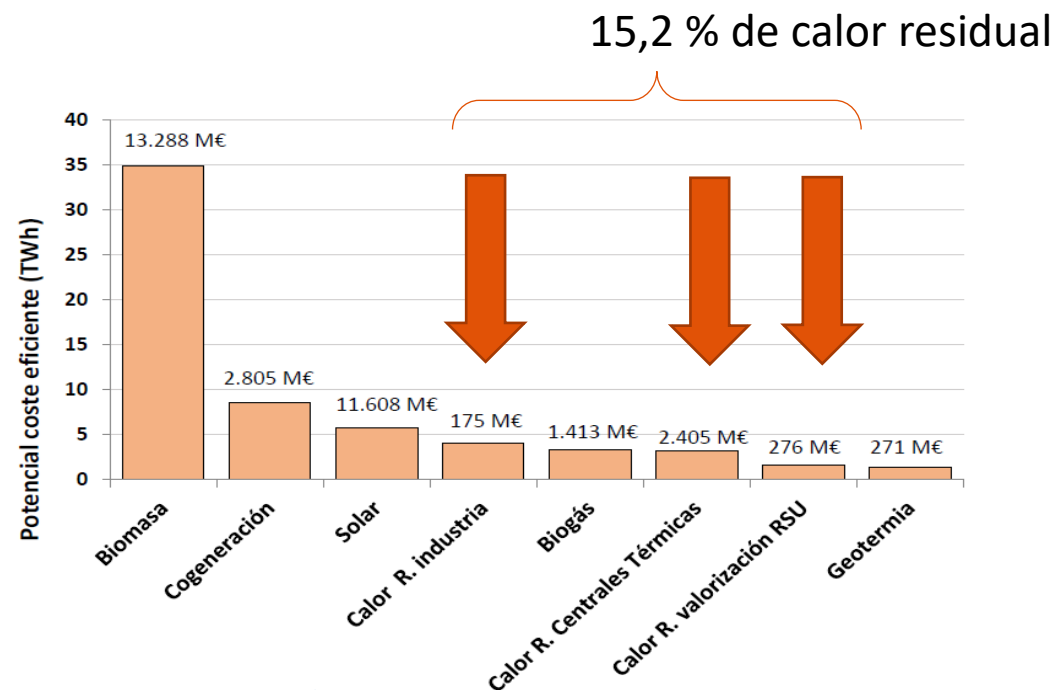
Comparación del potencial técnico identificado y la demanda térmica del año base (2013)

(Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo)

El **excedente de calor** puede ser un recurso valioso para otros procesos de la industria e incluso para otras industrias o usuarios, directamente o después de atravesar pasos de transformación intermedios.

Soluciones con potencial

Por otro lado, se consideraron las siguientes soluciones con potencial de suministro de energía térmica.



Cantidad de energía que potencialmente puede suministrar cada una de las soluciones analizadas para cubrir la demanda térmica

Tecnologías: Bombas de calor

Concepto

Es una máquina térmica que opera de acuerdo a un ciclo inverso respecto al de un motor térmico, siendo capaz de absorber un flujo de calor de un foco a baja temperatura (fuente) y suministrar un flujo de calor mayor a otro foco a alta temperatura (sumidero) a través del consumo de una energía motriz (normalmente eléctrica o térmica).

Formalezas y debilidades

Fortalezas

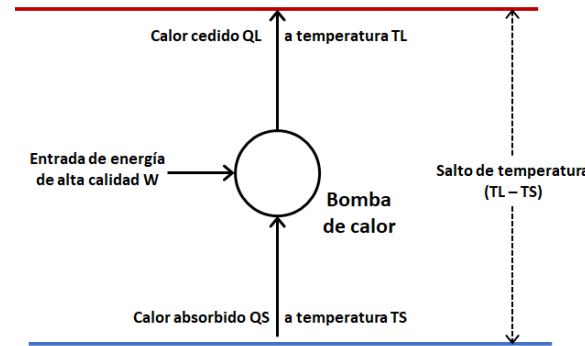
- Posibilidad de generar aprovechamiento conjunto de la producción de frío y calor
- Adaptación a un rango amplio de temperatura del calor residual, así como a un número muy elevado de aplicaciones tanto en la industria como fuera de ella (ACS, climatización de edificios, etc.)

Debilidades

- Costes iniciales elevados
- Bajo nivel de madurez en ciertos rangos de temperatura relevantes ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Escasez de proyectos piloto de referencia
- Regulación cada vez mas restrictiva en materia de refrigerantes
- Falta de concienciación de los beneficios de la tecnología dentro de la industria

Ejemplo

GEA Refrigeration Technologies



Principio de operación de una bomba de calor.

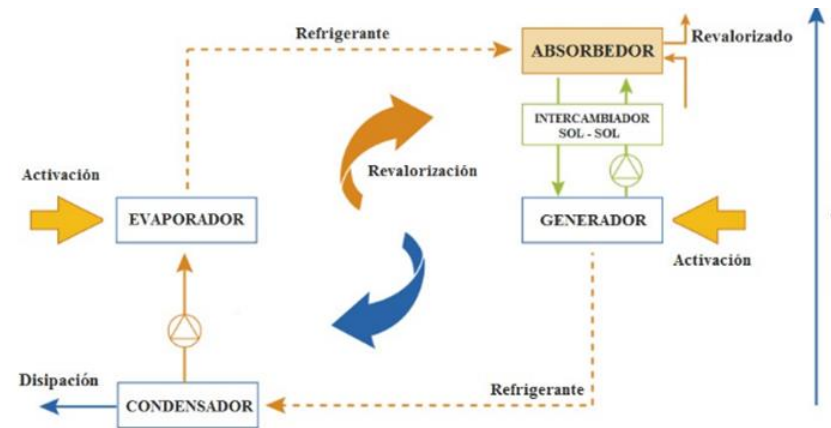
Tecnologías: Transformadores de calor por absorción

Concepto

La tecnología de transformador de calor por absorción (AHT, del inglés, Absorption Heat Transformer) de simple efecto, es capaz de incrementar la temperatura de aproximadamente el 50 % (COP térmico de 0,5) de una corriente de calor residual y revalorizar su temperatura en 50 °C, dependiendo de las condiciones de contorno.

Ejemplo

Flujos de calor residual con temperatura < 120°C, en industria química, papelera y alimentaria



Ciclo del transformador de calor por absorción
(Fuente: Tecnalia).

Formalezas y debilidades

Fortalezas

- Se basa en el principio de activación térmica (no hay consumo de energía final)
- Bajos costes de operación y mantenimiento
- Periodos de retorno de la inversión inferior a 6 años
- Tecnología probada desde los años 80 en Asia

Debilidades

- Desconocimiento de la tecnología a nivel industrial
- Falta desarrollo de esta tecnología a nivel europeo
- Falta de testeo a nivel nacional y necesidad de demostradores

Tecnologías: Calefacción de distrito

Concepto

Una aplicación natural del calor residual de muy baja temperatura ($<100^{\circ}\text{C}$) producido en la industria, y es usado para sistemas de calefacción de edificios o instalaciones cercanas

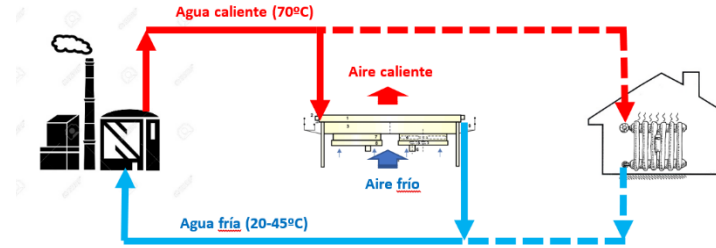


Diagrama de un sistema de district heating

Ejemplo

Calor residual de muy baja temperatura $<70^{\circ}\text{C}$ que normalmente no se recupera en la industria

Formalezas y debilidades

Fortalezas

- Inversiones pequeñas
- Bajo riesgo tecnológico
- Reduce costes de operación
- Además existen ayudas públicas para promover la eficiencia energética en el sector residencial mediante la mejorar de redes de distribución de frío y calor

Debilidades

- Mayores costes de implantación que tecnologías tradicionales de calefacción
- Mayores plazos de ejecución, permisos, etc. que tecnologías tradicionales de calefacción.

Tecnologías: Recuperación de frío de la vaporización de gas natural licuado

Concepto

La recuperación del frío excedente de la vaporización del gas natural licuado GNL podría alimentar un circuito cerrado de CO₂ que transportaría este frío en forma de CO₂ líquido a consumidores finales cercanos a las estaciones de regasificación.

Formalezas y debilidades

Fortalezas

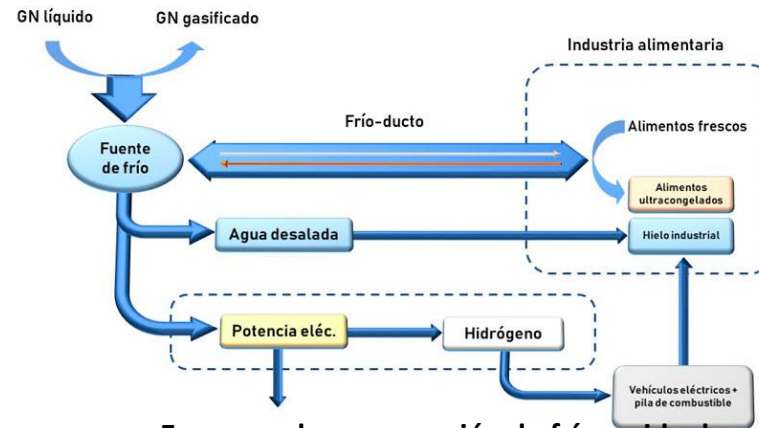
- Gran cantidad de energía disponible (miles de GWh)
- Interés de empresas grandes con estudios a nivel de planta piloto

Debilidades

- Inversiones elevadas
- Búsqueda de usuarios finales de ese frío cerca de las instalaciones
- Bajo precio de las tecnologías alternativas (frío desde electricidad / bombas de calor)

Ejemplo

Se utilizarán los excedentes de frío para producir hidrógeno mediante electrólisis y utilizarlo en un sistema de generación auxiliar



Esquema de recuperación de frío residual
(Fuente: Proyecto FEDER Interconecta – Shaky, cofinanciado por CDTI)*

Tecnologías: Recuperación de frío de la vaporización de gas natural licuado (ejemplo)

La planta del Puerto situada en el puerto de **Barcelona**, aprovecha el frío residual generado en el proceso de gasificación del gas natural licuado, para enviarlo mediante una red de transporte de agua glicolada. El frío recuperado se aplica para la climatización.

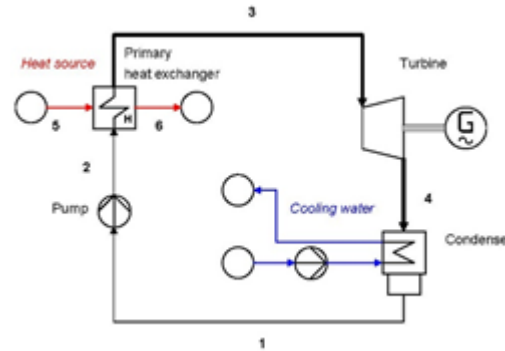
- Gasificación de GNL - Condensación de Propano.
- Ebullición del Propano - Enfriamiento del Agua Glicolada.
- Separador gas-líquido de Propano.
- Bombeo y almacenamiento del Agua Glicolada



Tecnologías: Ciclo de Rankine Orgánico (ORC)

Concepto

Es un sistema que permite la conversión de calor en electricidad a través de un conjunto de procesos fisicoquímicos que involucran un fluido orgánico de trabajo en un circuito cerrado (Organic Rankine Cycle)



Representación de un sistema ORC

Ejemplo

La generación de electricidad a partir de instalaciones **geotérmicas** de alta temperatura, son actualmente el principal campo de aplicación con aproximadamente el 75 % de toda la capacidad instalada de ORC en el mundo

Formalezas y debilidades

Fortalezas

- Tecnología probada y madura con muchas referencias
- Disponible a pequeña escala a partir de pocos kW
- Elevada eficiencia del ciclo
- Sistemas poco ruidosos, compactos y con bajo mantenimiento diario
- Larga vida útil
- Corto periodo de construcción

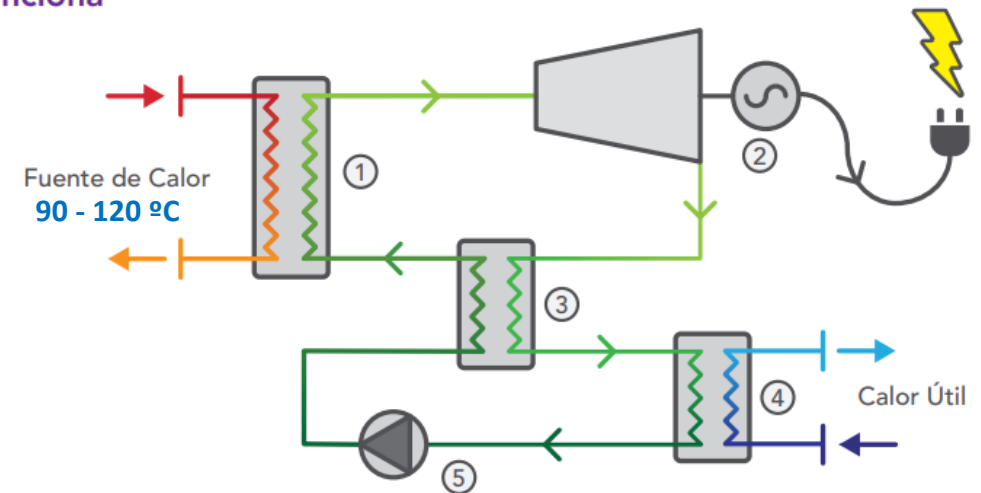
Debilidades

- Costes de inversión elevados
- Incentivos financieros necesarios para la rentabilidad del proyecto
- Los resultados financieros dependen del tamaño del equipo
- Periodo de amortización relativamente largo
- Los parámetros operativos son sensibles a la calidad del combustible
- Número relativamente pequeño de desarrolladores de tecnología

Tecnologías: Ciclo de Rankine Orgánico, ORC (ejemplo)



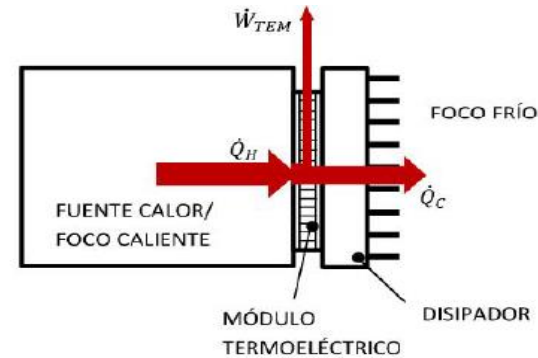
Cómo Funciona



Tecnologías: Tecnologías termoeléctricas

Concepto

Es un sistema capaz de convertir el calor residual procedente tanto de procesos industriales como de calderas domésticas de calefacción y agua caliente en electricidad. La conversión es reversible, pudiendo transformar la electricidad en energía calorífica, con la funcionalidad de enfriar o calentar.



Generador termoeléctrico
(Fuente: ETS Ingenieros Industriales de la UPM)

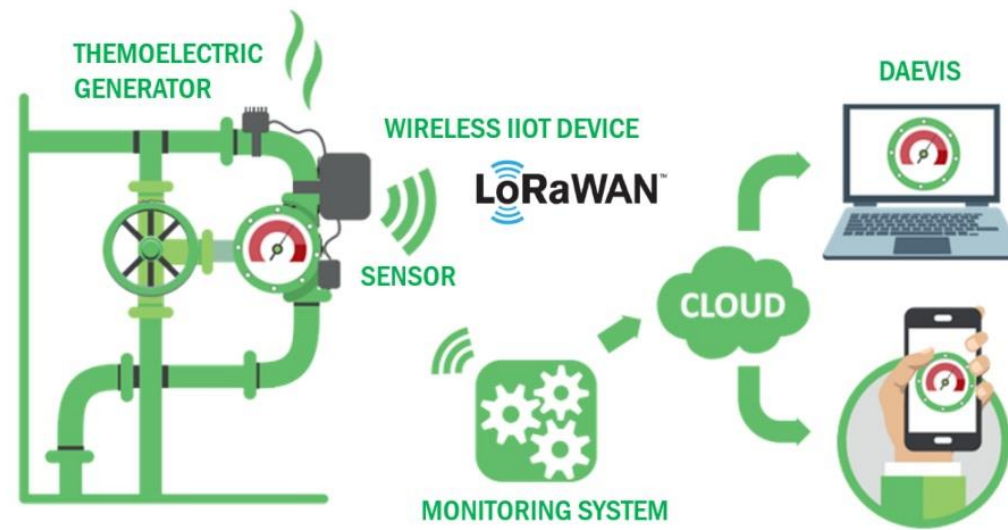
Ejemplo

Actualmente se desarrollan dispositivos de este tipo para la digitalización de la industria 4.0.
(ejemplo: AEInnova)

Formalezas y debilidades

Fortalezas	Debilidades
- Coste bajo - Tecnología duradera, fiable y robusta - No requiere mantenimiento - Pueden operar en cualquier orientación y diferentes condiciones gravitacionales	- Baja eficiencia de los materiales - Necesidad de desarrollo tecnológico para la escalabilidad - Necesidad de mantener una diferencia de temperatura constante para evitar grandes fluctuaciones de potencia eléctrica

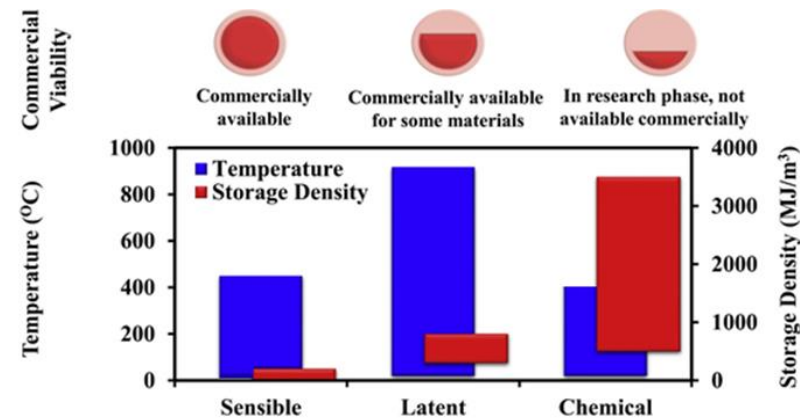
Tecnologías: Tecnologías termoeléctricas (ejemplo)



Tecnologías: Sistemas de almacenamiento de energía térmica

Concepto

La energía térmica (calor y frío) puede almacenarse por medio de calor **sensible**, calor **latente** asociado con el cambio de fase (PCM, del inglés, phase change material) o energía termoquímica.



Sistemas de almacenamiento de calor: sensible, latente y termoquímica

Ejemplo

El almacenamiento de calor latente con PCMs en condiciones reales es una prioridad para lograr un uso a gran escala

Formalezas y debilidades

Fortalezas

- Sistema pasivo sin necesidad de equipos adicionales que consuman energía (bombas, redes eléctricas, etc.)
- Optimización de procesos a nivel del sistema completo
- Alta flexibilidad para incorporar un sistema de PCM como reacondicionamiento de hornos u otros sistemas
- Sistema de regulación y amortiguación térmica actuando como fuente a temperatura constante

Debilidades

- Barreras tecnológicas en el desarrollo de **PCM** a altas temperaturas
- Altos costes de mantenimiento
- Viabilidad económica dependiente de la eficiencia térmica y adecuación al tipo de proceso donde se incorpore
- Requisitos técnicos que pueden impedir un funcionamiento óptimo

Tecnologías: Sistemas de almacenamiento de energía térmica (ejemplo)

Innovative WASTE HEAT RECOVERY AND STORAGE SYSTEM
INTEGRATING PCM in industrial environments



> 10%
NG reduction



> 100 t
CO₂eq



> 30 k€
Annual savings

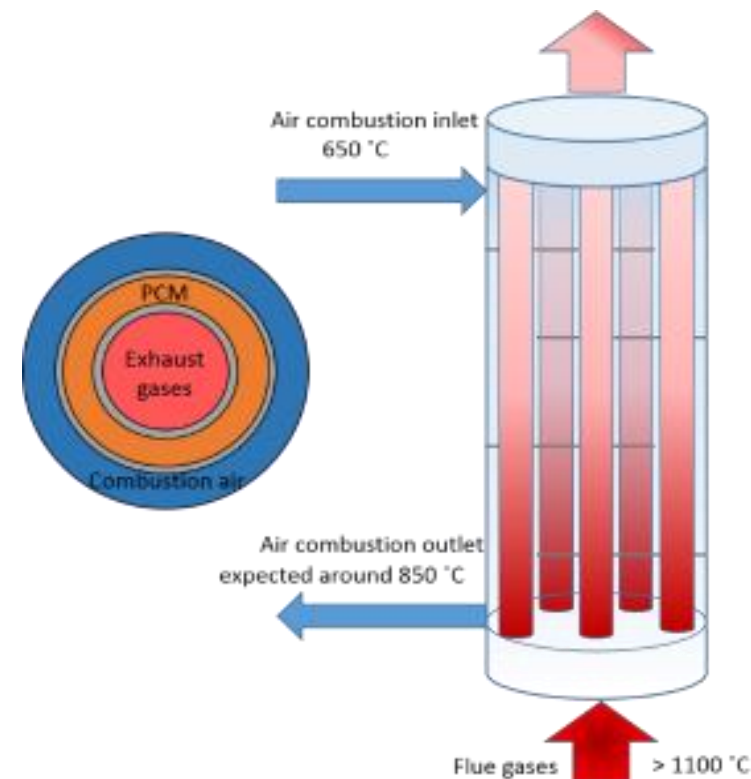
- Application of PCM at medium and high temperatures (from 400 to 800 °C).
- Investments adapted to needs and taking advantage of existing installations.
- Integration with control and monitoring systems towards Industry 4.0.
- Increased energy and environmental efficiency

CIRCE role:

PCM selection and case study matching
System modeling and conceptual design
Basic engineering and detailed engineering support
Experimental validation
Technical, economic and environmental feasibility assessment.

Objective:

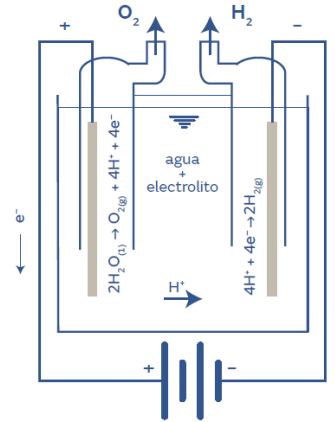
- waste heat recovery from exhaust gases in industrial furnaces to preheat the air stream.
- thermal storage for batch production to make the process more flexible.



Tecnologías: Conversión de la energía a gases renovables (H₂)

Concepto

Se conoce como tecnología “power to gas” a la conversión de **energía eléctrica excedentaria**, que se genera en periodos con baja demanda, en H₂ mediante electrólisis del agua



Celda clásica para electrólisis del agua.

Ejemplo

El “power to gas” no utiliza directamente el calor residual, sino que dependería de la implementación de alguna de las tecnologías descritas

Formalezas y debilidades

Fortalezas

- Producción de H₂ de elevada pureza
- Múltiples aplicaciones del H₂ producido: almacenamiento químico estacional de energía excedentaria, materia prima para procesos industriales, combustible para transporte, etc
- Tecnología apropiada para producir calor de media y alta temperatura

Debilidades

- Algunas tecnologías del ámbito de los gases renovables no están suficientemente consolidadas
- Tecnología indirectamente relacionada con la recuperación de calor residual, dependiente de la transformación previa del mismo en electricidad (la eficiencia energética global del proceso de recuperación de calor sería baja)

Análisis DAFO: tecnologías de recuperación de calor residual

FORTALEZAS	DEBILIDADES
1. Transformación de calor residual, disponible en grandes cantidades en las industrias intensivas, es un producto de valor añadido (calor de elevada calidad, electricidad, gases renovables, etc.) 2. Aumento de la eficiencia energética del sistema, reduciendo el consumo energético global, los costes de operación y la contaminación 3. Disponibilidad de gran variedad de tecnologías que pueden ser apropiadas para distintas aplicaciones e industrias	1. Falta de proyectos piloto de referencia a nivel nacional 2. Escasez de proveedores tecnológicos 3. Mayores costes de implantación que tecnologías tradicionales de recuperación de calor (economizadores) 4. Falta de conocimiento experto y concienciación de los beneficios de la tecnología dentro de la industria
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
1. Motivación de innovaciones técnicas que estimulan la creación de empleo en el sector industrial y contribuyen al crecimiento económico del país 2. Mercado de emisiones y esquemas de incentivación de proyectos sostenibles 3. Líneas estratégicas de la Comisión Europea en materia de energía y aparición de convocatorias de financiación de I+D+i PERTE	1. Bajo precio de la energía procedente de combustibles fósiles 2. Complejidad de ser sistemas innovadores y desconocidos 3. Sector energético sometido a posibles cambios políticos, de legislación y de condiciones del mercado, incluidos los mecanismos de apoyo 4. Baja efectividad de los incentivos 5. Situación de incertidumbre socioeconómica debido a la pandemia por COVID-19, que modifica las prioridades del momento



Conclusiones

A pesar de que el calor residual podría satisfacer un 15,2 % de la demanda térmica nacional, el potencial de recuperación sigue desaprovechándose debido a una serie de obstáculos, como la necesidad de disponer de tecnologías eficaces y rentables para recuperar el calor que se pierde y así reutilizarlo.

Este informe analiza una serie de tecnologías de recuperación de calor residual industrial para su utilización o transformación en otros vectores energéticos, como electricidad o gases renovables:

- Bombas de calor
- Transformadores de calor por absorción
- Calefacción de distrito
- Ciclos orgánicos de Rankine
- Tecnologías termoeléctricas
- Sistemas de almacenamiento de energía térmica mediante materiales de cambio de fase (PCM)
- Conversión de energía a gases renovables

El aprovechamiento del calor residual industrial supone **una oportunidad de autoconsumo** para las industrias con elevada demanda térmica.

Asimismo, el calor residual podría utilizarse para cubrir las **necesidades de calefacción de los sectores residencial** y comercial

Para consolidar su implementación, son imprescindibles **acciones políticas decididas** y mantenidas en el tiempo, y mecanismos de incentivación económica, como ayudas al autoconsumo o a la producción de electricidad de origen renovable



Muchas gracias por su atención



Tel.: [+34] 976 976 859 · circe@fcirce.es

www.fcirce.es