



Solución innovadora basada en el almacenamiento energético para redes de calor y frío sostenibles



www.restore-dhc.eu





“RESTORE presenta un concepto revolucionario que propone una solución innovadora para proveer electricidad y calor sostenibles, adaptando la producción a la demanda.”

Francisco Cabello Nuñez

Coordinador del proyecto, Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)



“Con la tecnología RESTORE es posible almacenar el exceso de energía térmica de verano para el invierno.”

Prof. Franz Winter

Experto en TCES, Technische Universität Wien



“El almacenamiento de energía es la tecnología clave para la transición hacia un mercado de energía totalmente renovable y el rORC puede desempeñar un papel disruptivo en las redes de energía distribuida y la eficiencia energética industrial”

Prof. Marco Astolfi

Experto en ciclos orgánicos, Politecnico di Milano

EL CONCEPTO RESTORE

UNA SOLUCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA LIMPIAS

Un mayor empleo de fuentes de energía limpias en el sector de la calefacción y la refrigeración es de vital importancia para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y los importantes impactos medioambientales asociados a su uso. Sin embargo, el mayor reto viene de la no gestionabilidad de la mayoría de las fuentes de energía limpias, lo que conduce a un desajuste fundamental entre el consumo y la producción energética.

El proyecto RESTORE presenta un concepto radicalmente innovador que permite la integración de una amplia gama de fuentes de energía sostenibles, incluidas no sólo las fuentes de energía renovables (RES, por sus siglas en inglés), sino que también los desperdicios de

calor (WEH, por sus siglas en inglés), aprovechándolos para calefacción y refrigeración urbanas, residenciales e industriales (DHC, por sus siglas en inglés).

Al combinar las fuentes de energía limpia con las capacidades de almacenamiento de energía propuestas por RESTORE, es posible abordar el desajuste entre la oferta y la demanda de energía, allanando así el camino para una reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y mejorando la sostenibilidad medioambiental.

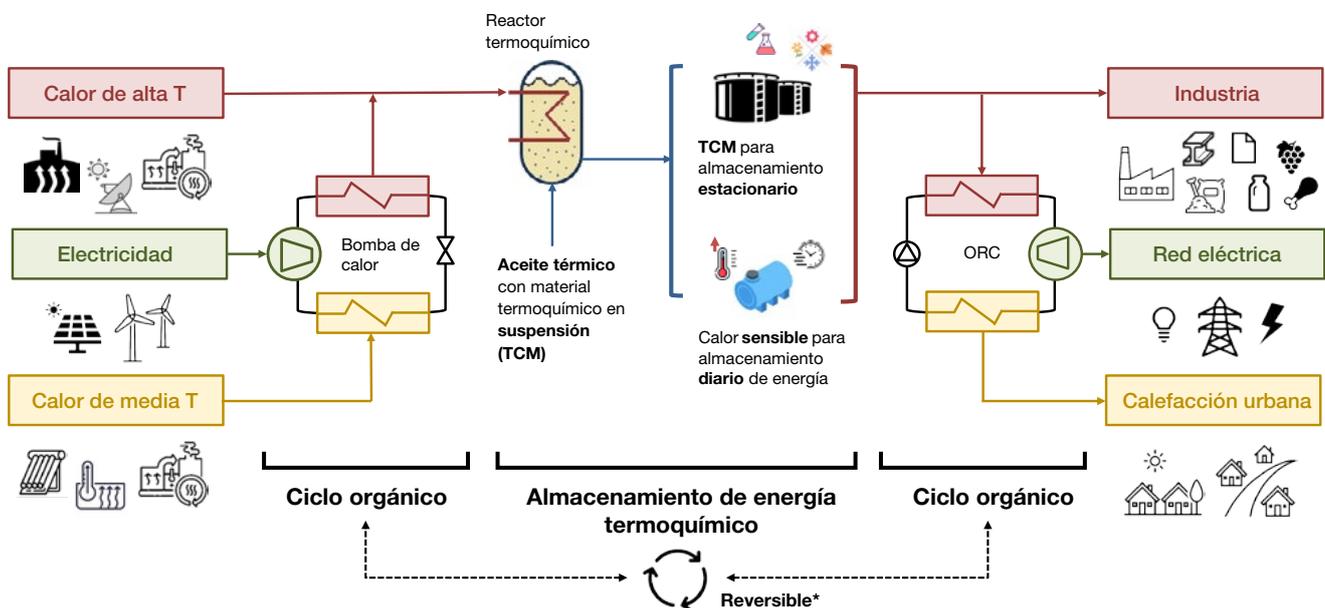
La solución RESTORE se basa en la integración de dos tecnologías clave: el ciclo orgánico de Rankine reversible (rORC, por sus siglas en inglés) y el

almacenamiento termoquímico de energía (TCES, por sus siglas en inglés). En modo bomba de calor, el ciclo orgánico primero captura energía de varias fuentes limpias y suministra calor en las condiciones requeridas para un reactor termoquímico. La energía suministrada al reactor se almacena tanto en forma de entalpía de reacción como de calor sensible. Según demanda, el sistema descarga la energía almacenada, proporcionando calor directamente a las industrias locales o haciendo funcionar un ORC para generar electricidad, al tiempo que ajusta las condiciones para satisfacer las necesidades de calefacción de un distrito residencial.

FUENTES DE ENERGÍA

TECNOLOGÍA RESTORE

USARIOS



ALTA DENSIDAD ENERGÉTICA – SIN PERDIDAS ALMACENAMIENTO TERMOQUÍMICO (TCES)



Sistema de reactor continuo TCES de 5 kW_{th}. Dispositivo de prueba de materiales para diferentes pares de TCES, p_{max} = 10 bars, θ_{max} = 200 °C.

Mediante el almacenamiento de energía en una reacción química, también conocida como almacenamiento termoquímico de energía (TCES), es posible guardar energía sin pérdidas durante largos períodos de tiempo. En comparación con otras tecnologías, la densidad energética es significativamente mayor. Además, el nivel de temperatura se puede adaptar a los requisitos eligiendo un material termoquímico adecuado y ajustando el nivel de presión. Por lo tanto, para el concepto RESTORE, el uso de TCES es la solución ideal para el

almacenamiento de energía a corto y largo plazo. Como parte del proyecto, la tecnología está avanzando sustancialmente a través del desarrollo de prototipos.

El sistema TCES de la izquierda es una versión a pequeña escala de 30 kW_{th} /150 kWh que se instalará en el laboratorio de la TU Wien. Puede funcionar con distintos materiales TCES, como CuSO₄·5H₂O, CaCl₂·2H₂O o K₂CO₃·1,5H₂O. Para adaptar el reactor a los distintos pares de TCES, el sistema puede funcionar hasta p_{max} = 10 bars y θ_{max} = 200 °C. El reactor puede funcionar en modo de carga y descarga.

Modo de carga: El material termoquímico del interior del reactor se divide en un compuesto sólido y otro gaseoso. El compuesto gaseoso (en este caso H₂O) se condensa y se almacena en un contenedor de agua. El material no cargado se transporta desde un recipiente, pasando por un precalentador hasta el reactor donde tiene lugar la descomposición por calentamiento. Tras el enfriamiento y la separación del material sólido del aceite se almacena el material cargado.

Modo de descarga: El material sólido se recombina en el reactor con el componente gaseoso/líquido y se extrae el calor liberado a través de una bobina interna.

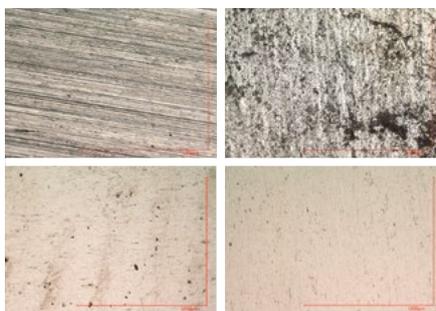
Se miden los flujos de masa, las temperaturas y las presiones para observar el progreso de la reacción, así como para formular el balance energético.



Propiedades de suspensión

El comportamiento de suspensión se describe en base a propiedades como:

- densidad
- densidad energética
- viscosidad



Ensayos de corrosión

Se investigaron diferentes tipos de acero en función de su resistencia a la corrosión:

- Se detectaron efectos del almacenamiento durante 5 meses y 25 ciclos
- Se analizaron aceros como 1.4301, 1.4404 y 1.4571



Patrón de flujo y transferencia de calor

Se realizaron mediciones de distribución de la suspensión de transferencia de calor y el patrón de flujo

- Uso de un reactor de vidrio para observar la estructura del flujo mediante PIV.
- Realización de mediciones de transferencia de calor.

Se ha probado con éxito un funcionamiento continuo y estable con ciclos de carga y descarga por calor utilizando sulfato de cobre y carbonato de potasio.

Actualmente se está escalando a 5 kW y 30 kW.

RESULTADOS

Materiales de TCES optimizados

Las propiedades químicas y termofísicas de numerosos materiales TCES fueron analizadas a fondo, y se seleccionaron los candidatos más óptimos, con densidades energéticas de hasta 1,11 GJ/m³ de suspensión (o 2,07 GJ/m³ de sal).

Examen exhaustivo del material

Se evaluaron varios tipos de aceites minerales, de silicio y vegetales, tanto individualmente como en combinación entre sí o con aditivos, y se determinaron las combinaciones óptimas para la reacción; de este modo, se probaron de 5 a 30 ciclos de carga y descarga de 5 sistemas químicos en un reactor discontinuo a escala de laboratorio.

Innovadores sistemas de rociadores

fueron diseñados y aplicados para mejorar la transferencia de masa con los reactores.

Dinámica de flujo optimizada

Se evaluaron varios diseños de impulsores y sistemas de agitación mediante simulaciones numéricas y estudios experimentales para optimizar la dinámica del flujo dentro de determinadas geometrías de reactores y equipos asociados.

Alta eficiencia de transferencia de calor

lo que permitió mejorar la cinética de reacción y controlar mejor los materiales TCES.

Desarrollo de técnicas de conservación optimizadas

mediante el examen sistemático de los efectos del almacenamiento en los materiales TCES.

Sistema de fácil ampliación

Se ha diseñado un flujo de proceso optimizado que permite una fácil ampliación y una mayor modularidad de los sistemas.

Planta piloto TCES de 5 kW_{th}

Aprovechando los resultados de las investigaciones multidisciplinares y otras pruebas a pequeña escala, se ha fabricado una planta piloto TCES de 5 kW_{th} como paso intermedio para la planta RESTORE de 30 kW_{th}, con el fin de evaluar los materiales TCES en diversas condiciones de funcionamiento para evaluar su potencial de almacenamiento termoquímico de energía.

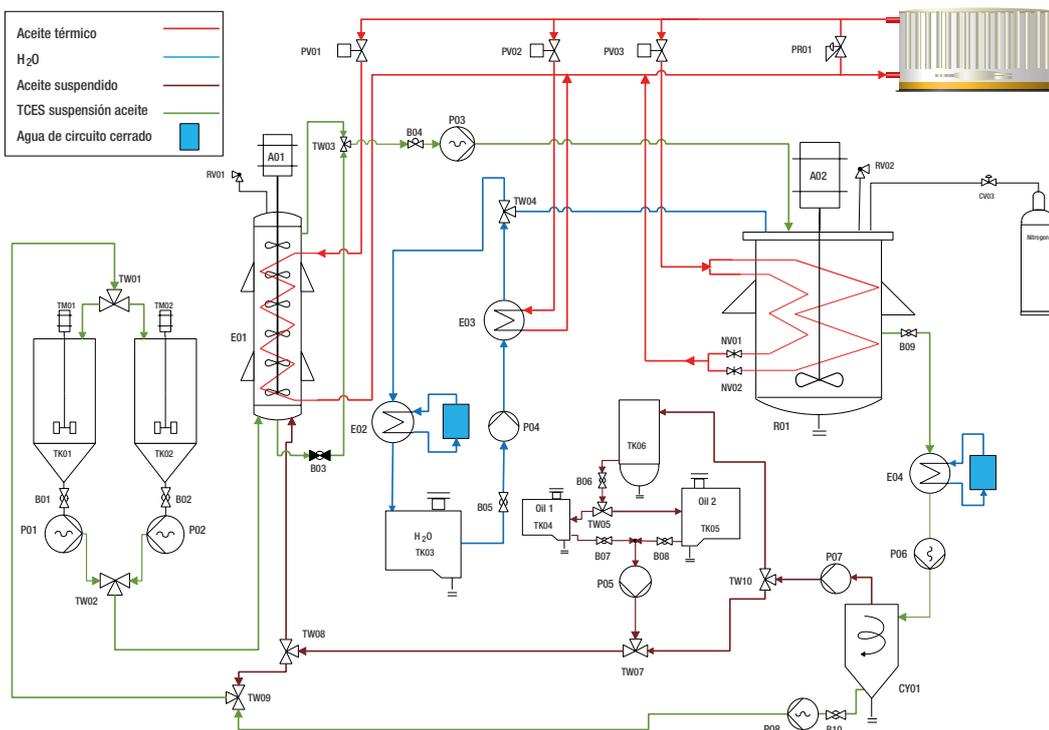
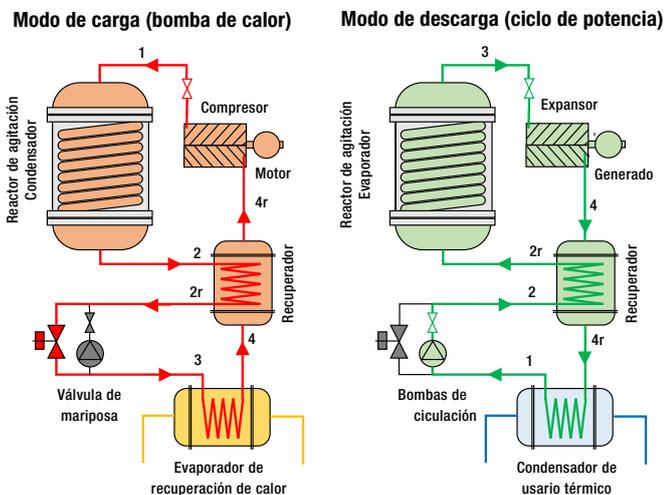


Diagrama de flujo del prototipo de reactor diseñado

Diagrama de flujo de proceso del prototipo compuesto por tanques de almacenamiento, circuitos de agua y aceite, reactor CST, intercambiadores de calor y otros equipos auxiliares.

INTEGRAR DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA CICLO RANKINE ORGÁNICO REVERSIBLE (RORC)



Batería Carnot integrada térmicamente basada en el concepto ORC reversible

Concepto ORC reversible

La tecnología de las baterías Carnot aprovecha el calor y la electricidad almacenando calor a altas temperaturas o energía química durante la carga y convirtiéndolos de nuevo en electricidad y calor a media temperatura durante la descarga. Este sistema reversible funciona como una bomba de calor y como un ciclo de energía, utilizando los mismos componentes. Esta doble funcionalidad minimiza los costes de inversión, maximiza las horas de funcionamiento y mejora la viabilidad económica global del sistema. Su componente principal, una máquina volumétrica, funciona tanto como compresor como expansor, dependiendo del modo de funcionamiento y, por tanto, garantiza un alto rendimiento, mínimos problemas de acoplamiento y un funcionamiento flexible. Esto la hace ideal para aplicaciones pequeñas y medianas en plantas de almacenamiento distribuido.

Concepto de batería Carnot térmicamente integrada

El proyecto RESTORE investiga y optimiza sistemas de almacenamiento de energía térmica por bombeo (PTES) basados en baterías Carnot que funcionan con motores ORC. Este sistema integra perfectamente el calor procedente de fuentes de energía renovables y procesos industriales, lo que permite utilizar tanto el excedente de electricidad de fuentes renovables intermitentes como el calor residual de diversos orígenes. Como resultado, esta batería Carnot térmica integrada mejora la eficiencia global del sistema al minimizar las pérdidas de energía térmica, al tiempo que ofrece una solución muy eficiente para almacenar electricidad procedente de fuentes renovables.

Una ventaja adicional de este sistema es la capacidad de la tecnología ORC para absorber y liberar calor a temperaturas casi constantes, lo que la hace ideal para la utilización del calor a temperaturas medias y bajas y la liberación controlada de energía térmica para su almacenamiento en el reactor termoquímico. Además, este sistema puede integrarse fácilmente en las redes de calefacción urbana. El uso de fluidos orgánicos también crea fuertes sinergias con otros sectores industriales, como las bombas de calor de alta temperatura y la recuperación de calor residual industrial, ayudando a explorar y aprovechar las economías de escala a través de grandes volúmenes de producción.

RESULTADOS

Eficiencia

La explotación del calor residual permite aumentar el rendimiento en más de un 55 % para los sistemas que no implementan almacenamiento sensible adicional y se acerca al 100 % si se adoptan configuraciones de almacenamiento más complejas.

Flexibilidad

Capacidad para recuperar fuentes de calor de baja calidad (< 80 °C), elevarlas a la temperatura TCES (120 – 130 °C), almacenarlas eficazmente y utilizarlas cuando sea necesario, ya sea en modo térmico o en modo eléctrico.

Escalabilidad

Es posible ampliar el abanico de aplicaciones, no limitándose exclusivamente al almacenamiento estacional para grandes redes de calefacción urbana, sino también para pequeñas ciudades e incluso para aplicaciones domésticas y residenciales.

La batería Carnot es la tecnología que el mercado del almacenamiento de energía está esperando.

Prototipo rORC

Enerbasque construyó el prototipo rORC en colaboración con la Politécnica de Milán. POLIMI optimizó el sistema mediante modelización numérica y análisis de rendimiento fuera del punto de diseño, seleccionando el fluido de trabajo, definiendo las condiciones de funcionamiento y dando solución a sus limitaciones. Por su parte, Enerbasque se encargó del diseño detallado del sistema, incluida la selección de componentes, la definición del diseño y las modificaciones de la máquina volumétrica, que inicialmente se diseñó como compresor, pero luego se adaptó para que funcionara también como expansor. El prototipo está equipado con varios sensores de temperatura y presión para un control exhaustivo y numerosas válvulas de accionamiento automático que permiten cambiar de forma rápida y

fiable entre la bomba de calor y el ciclo de potencia modos de funcionamiento. En la actualidad, este prototipo se está probando exhaustivamente en los laboratorios del Departamento de Energía del Politécnico de Milán, con el objetivo de definir los límites de operación del sistema en términos de potencia y temperatura y analizar las condiciones transitorias necesarias para cambiar entre diferentes puntos operativos.

Tras esta campaña experimental, se enviará a los laboratorios de TU Wien, donde se conectará al reactor termoquímico de bucle continuo. Esta fase final tiene por objeto probar la integración eficaz de los dos sistemas innovadores desarrollados en el marco del proyecto RESTORE.

Batería de Carnot a mayor escala

El siguiente paso es ampliar el prototipo RESTORE rORC para aplicaciones a pequeña, mediana y gran escala, donde Enerbasque y Turboden están trabajando en el diseño mecánico detallado de los respectivos sistemas.

A pequeña escala

La solución para potencias inferiores a 500 kW presenta una configuración totalmente reversible, lo que minimiza los costes de instalación y la hace especialmente atractiva para los mercados residenciales o comerciales a pequeña escala. El diseño de este sistema se basa en la experiencia adquirida en el desarrollo del prototipo y tiene por objeto proporcionar directrices para crear máquinas muy flexibles con una amplia gama operativa. Se ha seleccionado una olefina de nueva generación para garantizar una sostenibilidad medioambiental muy alta y un mínimo riesgo de incendio.

A gran escala

Para potencias superiores a 1 MW, el sistema adopta un enfoque diferente, utilizando dos componentes separados -un compresor para la fase de carga y una turbina para la fase de descarga- para optimizar la eficiencia. Esta configuración está diseñada para maximizar el rendimiento y aprovechar la experiencia de Turboden en turbomaquinaria para motores ORC y bombas de calor de alta temperatura. Además, se ha seleccionado un fluido de trabajo orgánico para esta máquina, con el fin de garantizar un alto rendimiento y el pleno cumplimiento de la normativa europea.



Puesta en marcha y pruebas de rendimiento en las instalaciones de POLIMI.



Construcción del prototipo rORC en las instalaciones de Enerbasque.



Máquina volumétrica reversible de doble husillo - Compresor/Expansor.

SIMULADO VIRTUALMENTE INTEGRADO DE FORMA INTELIGENTE

CASOS VIRTUALES DE RESTORE

A partir de seis casos de estudio virtuales, se analizan las posibles aplicaciones de la tecnología RESTORE en varios lugares de Europa:

1

3

5

2

6

4



¡Únase a la comunidad virtual RESTORE!

Para experimentar el potencial disruptivo de esta innovación e interactuar con sus capacidades, le invitamos a unirse a nuestra comunidad gestionada por Prospex Institute.

¡Regístrese
aquí!

Como miembro, recibirá:

- Una introducción exhaustiva al proyecto con una reunión individual
- Acceso a un seminario web gratuito
- Participación en un grupo activo de LinkedIn
- Acceso de prueba gratuito a la plataforma de simulación



Caso virtual 1
Planta Brønderslev
Dinamarca

Red de distrito residencial/industrial con biomasa, colectores solares y calor residual industrial. Mayor uso de la energía solar térmica y suministro adicional de electricidad.



Caso virtual 2
Planta cementera Gmunden
Gmunden, Austria

Integración de diferentes fuentes de calor de la industria cementera en el DHC. Integración de la tecnología RESTORE en la planta de producción de cemento para abastecer a los consumidores de calor vecinos.



Caso virtual 3
Planta Mondi SCP
Ružomberok, Slovakia

Integración de diferentes fuentes de calor en el DHC de la industria papelera. Maximización de la integración de RES y utilización óptima de WEH de la fábrica para un almacenamiento estacional de calor altamente eficiente.



Caso virtual 4
Fábrica de acero Alfa Acciai
Brescia, Italia

Integración de diferentes fuentes de calor en el DHC de la industria siderúrgica. Mejorar la utilización de la bomba de calor durante la temporada de verano para aumentar su cuota en la red de calor local.



Caso virtual 5
Central geotérmica de Holzkirchen
Holzkirchen, Alemania

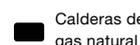
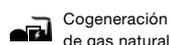
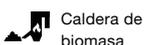
Calefacción urbana con tecnología geotérmica. Maximización de la explotación del calor geotérmico y utilización óptima de la energía geotérmica para un almacenamiento estacional altamente eficiente del calor.



Caso virtual 6
Campus de POLIMI
Milán, Italia

Red DHC a pequeña escala. Aplicar el concepto RESTORE a soluciones descentralizadas de pequeño tamaño y reducir el consumo de gas natural.

Leyenda:



RESTORE EN ESCENARIOS A ESCALA

HERRAMIENTA VIRTUAL DE SIMULACIÓN



Herramienta virtual de RESTORE

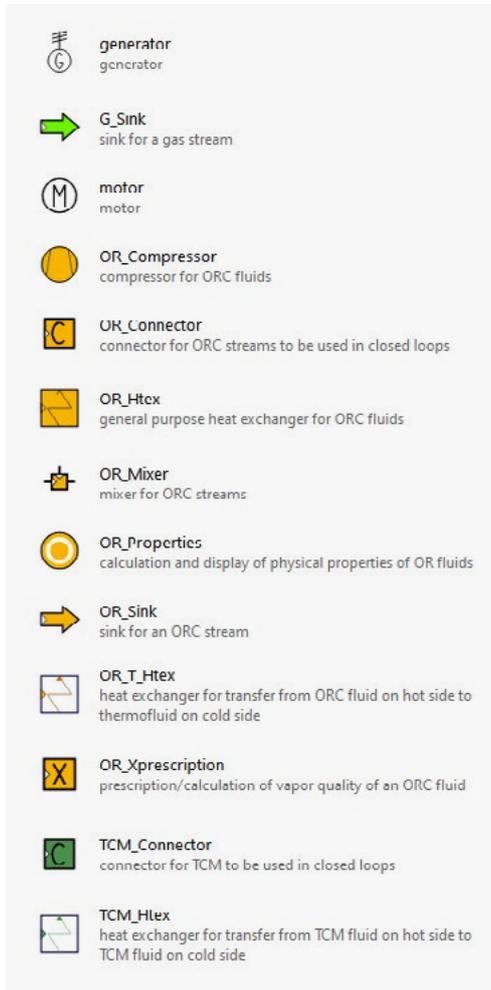
Para demostrar el concepto RESTORE y facilitar a las partes interesadas y a los usuarios finales el acceso a los resultados de los casos prácticos, se ha desarrollado la herramienta virtual RESTORE como una plataforma web interactiva accesible a través de cualquier navegador.

Todos los casos de estudio están disponibles a través de la herramienta virtual y pueden explorarse en detalle. Los usuarios registrados pueden modificar los modelos de procesos de los casos de estudio existentes y crear nuevos casos de prueba para la tecnología RESTORE.

La herramienta virtual de RESTORE combina las capacidades de un marco genérico de simulación de procesos con una biblioteca de componentes desarrollados específicamente para representar el concepto RESTORE. Los modelos de procesos se construyen los modelos de componentes individuales de la biblioteca.

La herramienta virtual incluye una biblioteca de más de 80 modelos de componentes que pueden organizarse gráficamente para crear modelos de procesos para sistemas basados en el concepto RESTORE.

Extracto de la biblioteca de modelos RESTORE



Plataforma de simulación IPSE GO

La herramienta virtual se basa en la plataforma de simulación de procesos IPSE GO, un marco de simulación de procesos genérico y nativo de la nube. IPSE GO es adaptable a diferentes aplicaciones mediante el uso de bibliotecas de modelos específicas de la aplicación. Para el desarrollo de nuevas bibliotecas de modelos, se basa en el kit de desarrollo de modelos del paquete de simulación de procesos IPSEpro.

IPSE GO dispone de una interfaz gráfica de usuario que permite configurar gráficamente los modelos de procesos, resolverlos y mostrar los resultados. Además, permite la integración de modelos de procesos en sitios web, lo que facilita su difusión y una mayor accesibilidad. La plataforma también permite compartir y colaborar en proyectos.

Para personalizarlo, IPSE GO expone una interfaz de scripting que permite interactuar con otros módulos de cálculo como Google Docs, una capacidad que se utiliza para implementar la evaluación económica del concepto RESTORE.

COMBINACIÓN EFICAZ DE TECNOLOGÍAS

BRØNDERSLEV FORSYNING A/S

Caso virtual 1: Central de Brønderslev

La central híbrida de Brønderslev es la primera en combinar energía solar concentrada (CSP) y biomasa con aprovechamiento de calor residual. Consta de un campo de colectores cilindro-parabólicos de 16,6 MW, dos calderas de biomasa de 10 MW y un sistema ORC de 4 MW. Los colectores solares y las calderas están conectados hidráulicamente, suministrando calor al ORC y a la red de calefacción urbana. El campo solar también puede operar de forma independiente. La planta funcionó de manera fiable, demostrando el potencial de la hibridación CSP-biomasa. En el caso virtual, la solución RESTORE se adapta para cumplir estos requisitos específicos. Utiliza el excedente de energía solar térmica del campo de colectores solares cilindro-parabólicos existente para cargar directamente el reactor termoquímico y producir material de

almacenamiento termoquímico deshidratado. De este modo, no se requiere una bomba de calor para la operación de carga, ya que la temperatura del aceite térmico del circuito solar de la planta es suficientemente alta. Durante el ciclo de descarga, el material termoquímico se alimenta al reactor en periodos favorables para accionar una turbina ORC. La herramienta virtual permite adaptar la configuración del proceso de la tecnología RESTORE a estas condiciones y evaluar su rendimiento en este escenario.

Más información

El acceso a los resultados de la herramienta virtual RESTORE estará disponible en el siguiente enlace: about.ipsego.app/embed/RESTORE_Lib



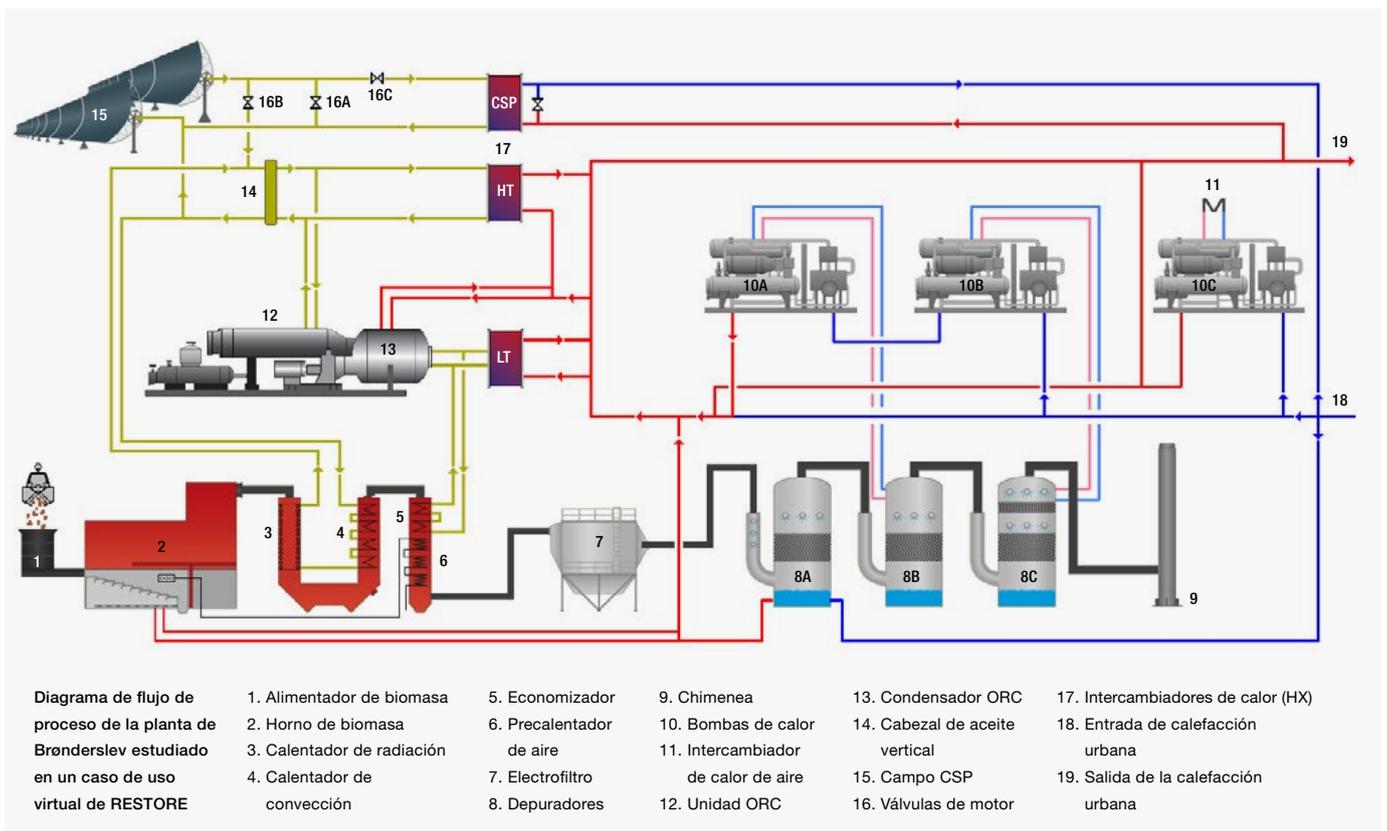
RESULTADOS

Mayor uso de la energía solar térmica

La solución virtual pretende maximizar la integración de las energías renovables en el distrito.

Suministro adicional de electricidad

En periodos con precios elevados de la electricidad, la solución RESTORE puede suministrar energía eléctrica haciendo funcionar una turbina ORC mediante la descarga del material termoquímico del reactor.





Renewable Energy based seasonal Storage Technology in Order to Raise Economic and environmental sustainability of DHC.

En el proyecto RESTORE, que comenzó en octubre de 2021 y finalizará en 2025, participan 12 socios repartidos en 7 países diferentes de la UE. La Fundación CENER, con amplia experiencia en el campo de las energías renovables y el almacenamiento de energía y en la coordinación de proyectos H2020, lidera el consorcio, que engloba a un grupo interdisciplinar de entidades. Universidades con larga experiencia en los conceptos propuestos asisten a empresas especializadas en la

industrialización de la tecnología desarrollada. Además, PYMES especializadas en herramientas de simulación garantizan la fiabilidad del análisis de los casos virtuales con el apoyo de empresas industriales con gran experiencia en redes DHC. Por otra parte, en el consorcio participan entidades experimentadas, que llevan a cabo la evaluación de la tecnología propuesta en diversos ámbitos, así como la difusión y explotación de los resultados del proyecto.



www.restore-dhc.eu

www.linkedin.com/company/restore-dhc-project

Fecha de Publicación

31 de marzo de 2025

Editado por

Solites - Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems

Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart, Germany

info@solites.de, www.solites.de

Con el apoyo de los socios del proyecto RESTORE.



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención n.º 101036766. La única responsabilidad del contenido de esta publicación recae en los autores. No refleja necesariamente los puntos de vista de las instituciones de la Unión Europea. Ni la Comisión Europea ni los autores son responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

Fuentes de imágenes: Página 1: Energía solar térmica © Aalborg CSP, ORC © Dennis Rein/@reinspire.d, reactor termoquímico © TU Wien, geotermia © Geothermie Holzkirchen Plant. Página 4: TCES © TU Wien. Página 7: rORC © Enerbasque. Página 9: Brønderslev © Aalborg CSP, Gmunden © Rohrdorfer Zement, Mondí SCP © Mondí, Brescia © Alfa Acciai, Holzkirchen © Geothermie Holzkirchen Plant, Campus POLIMI © Politecnico di Milano. Página 10: Herramienta virtual © SimTech. Página 11: Brønderslev © Aalborg CSP.