Sede UJI
Campus Universitario Riu Sec
Av. Vicent Sos Baynat s/n
12006 Castelló (Spain)

Sede Almassora
Pol. Ind SUPOI 8
C/Cedrillas, 20
12550 Almassora-Castelló (Spain)

www.itc.uji.es
info@itc.uji.es
T. +34 964 34 24 24
F. +34 964 34 24 25

Análisis del empleo de baterías térmicas en la fabricación de baldosas cerámicas

Informe nº C253150
Nº de páginas 52
ASCER - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS
Castellón, 03 de diciembre de 2025

GENERALITAT VALENCIANA
Conselleria de Hacienda y Economía

ASCER
Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos

El Instituto de Tecnología Cerámica está integrado por el Instituto Universitario de Tecnología Cerámica "Agustín Escardino" de la Universitat Jaume I de Castellón y la Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas, AICE, entidad privada de carácter no lucrativo creada por iniciativa de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, en colaboración con las industrias del sector cerámico

Índice

1. Introducción **2**

2. Objetivos **3**

3. Almacenamiento térmico **4**

3.1. Descripción 4

3.2. Tecnologías de almacenamiento térmico 6

3.3. Tecnologías disponibles en el mercado 8

4. Descripción de los equipos **10**

4.1. Secaderos de materias primas por atomización 10

4.2. Secaderos de baldosas cerámicas 11

4.3. Hornos de cocción de baldosas cerámicas 12

5. Definición de los escenarios **14**

5.1. Escenario 1: Planta de fabricación con dos líneas productivas 14

5.2. Escenario 2: Planta de fabricación con cinco líneas productivas 14

6. Análisis de la integración del almacenamiento de calor en los equipos térmicos **16**

6.1. Integración en un secadero de materias primas por atomización 16

6.2. Integración en un secadero de baldosas cerámicas 17

6.3. Integración en un horno de cocción de baldosas cerámicas 17

7. Análisis de la integración del almacenamiento de calor en una planta productiva del sector cerámico. **19**

7.1. Determinación del precio del gas natural y las emisiones de CO_2. 19

7.2. TES 1. Sistema de almacenamiento de calor sensible en roca triturada. 20

7.3. TES 2. Sistema de almacenamiento de calor sensible en arcilla. 24

7.4. TES 3. Sistema de almacenamiento de calor latente en sales minerales. 32

7.5. TES 4. Sistema de almacenamiento termoquímico en óxidos metálicos. 36

7.6. Resumen de resultados 42

8. Conclusiones **44**

9. Agradecimientos **46**

Anexo I. Estrategias de obtención de energía a bajo coste. **47**

A) Excedentes de una instalación fotovoltaica. 48

B) Consumo de electricidad en las horas más baratas. 49

C) PPA con gestión de carga o respuesta a demanda. 51

D) Recuperación de calor de hornos a secaderos. 51

© ITC-AICE 2025

1. Introducción

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas tiene un elevado consumo de combustible de origen fósil, gas natural, empleado para la generación del calor necesario en los procesos de secado y cocción. Esta combustión genera emisiones de CO_2, gas de efecto invernadero cuyas emisiones están reguladas y limitadas a nivel internacional.

El sector de fabricación de baldosas cerámicas, afectado por la normativa europea de comercio de emisiones, debe reducir de manera significativa las emisiones directas de CO_2 para cumplir con los objetivos marcados por la Ley Europea del Clima, que marca un objetivo de reducción de las emisiones en un 55 % para el año 2030, respecto a 1990.

Aunque el sector cerámico está considerado como uno de los sectores expuesto a riesgo de fuga de carbono, y como tal recibe asignación gratuita de emisiones, las emisiones gratuitas asignadas no cubren actualmente el total de las emisiones generadas y, además, la previsión es que esta asignación gratuita se reduzca de forma significativa en el periodo 2026-2030. Esto supondrá un incremento de los costes asociados a las emisiones, y por tanto una pérdida de competitividad para las empresas.

En este contexto técnico-económico, es importante la implementación de tecnologías y fuentes de energía que minimicen las emisiones de CO2 en el proceso de fabricación. Entre las posibles tecnologías de descarbonización aplicables en el sector cerámico, se encuentran las tecnologías de almacenamiento de calor, denominadas habitualmente TES (Thermal Energy Storage), por sus siglas en inglés.

Esta tecnología, permite almacenar energía en forma de calor para utilizarla cuando sea necesario, mejorando la eficiencia energética, reduciendo el uso de combustibles fósiles y aportando flexibilidad al sistema energético de la empresa.

Diversos organismos oficiales, tanto nacionales como europeos, apuntan al almacenamiento térmico como una de las tecnologías clave para la descarbonización industrial. A continuación, se citan los más destacados.

El PNIEC (2023-2030)[1], en su Medida 1.10. Descarbonización del sector industrial, indica la inclusión de proyectos que consideren la integración de tecnologías de almacenamiento térmico en el PERTE ERHA, pues se consideran, junto a otras tecnologías, solución clave en la descarbonización industrial.

La Estrategia de almacenamiento energético (2021)[2] incluye el almacenamiento térmico como una tecnología clave para la descarbonización de los procesos industriales, por su papel facilitador tanto para el aprovechamiento de energía residual como para la integración de energía renovable en la industria.

Según datos de la European Association for Storage of Energy (EASE), el almacenamiento de calor es una de las tecnologías con mayor potencial para la descarbonización de procesos industriales[3]. Es una tecnología madura en uso residencial para agua caliente sanitaria y en diversos usos industriales, situándose muchas de las tecnologías de almacenamiento térmico en TRL 7-9.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)[4], el almacenamiento térmico dispone de un gran potencial de hibridación con otras tecnologías energéticas, especialmente con la generación eléctrica mediante energías renovables, tanto en procesos industriales como en sistemas de calefacción/refrigeración de edificios.

---

[1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2023. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2023-2030 (PNIEC).
[2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). 2021. Estrategia de almacenamiento energético.
[3] European Association for Storage of Energy (EASE). 2023. Thermal Energy Storage Report.
[4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2021. Análisis del estado actual del almacenamiento detrás del contador en España.

© ITC-AICE 2025

2. Objetivos

El principal objetivo de este informe es analizar las posibilidades de implementación de los sistemas de almacenamiento térmico en el proceso productivo de una planta de fabricación de baldosas cerámicas.

Para ello se definen como objetivos:

- Analizar las características de los sistemas de almacenamiento de energía térmica disponibles actualmente en el mercado.
- Estudiar las posibilidades de implementación en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas.
- Analizar la implementación de esta tecnología en dos escenarios representativos del sector: empresa con ciclo parcial de producción de tamaño medio, y empresa de ciclo completo de mayor tamaño.

© ITC-AICE 2025

3. Almacenamiento térmico

3.1. Descripción

Los sistemas de almacenamiento térmico son una de las tipologías de los sistemas de almacenamiento de energía existentes. Esta tecnología consiste en el almacenamiento de energía en forma de calor, ya sea en forma de calor sensible, calor latente o reacciones químicas.

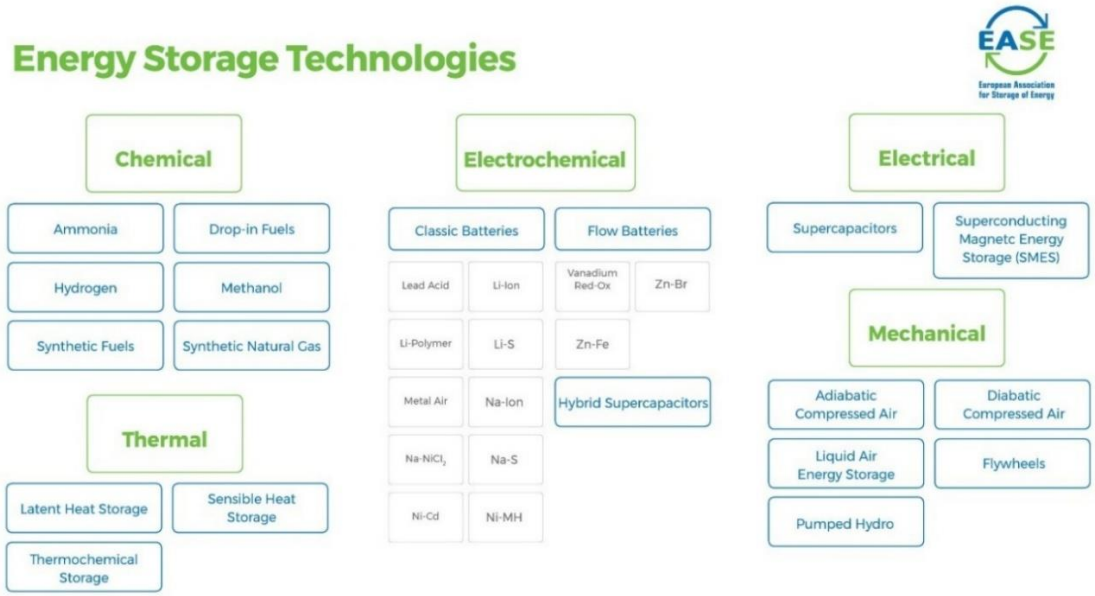

Figura 1. Tecnologías de almacenamiento energético tras contador. Fuente: EASE[5].

El almacenamiento térmico está principalmente destinado a suministrar directamente calor para procesos industriales, dado que la conversión de calor a electricidad hace que el rendimiento de estos sistemas se reduzca drásticamente frente al uso directo del calor almacenado.

Su función principal es desacoplar en el tiempo la producción de energía térmica de su consumo, lo que es clave para aumentar la eficiencia, gestionar la demanda y facilitar la integración de energías renovables intermitentes como la solar. De esta manera, se puede cargar el sistema de almacenamiento con los excedentes de energías renovables propias, o con electricidad en las horas del día con un precio de generación de la energía eléctrica más bajo.

[5] https://ease-storage.eu/energy-storage/technologies/

© ITC-AICE 2025

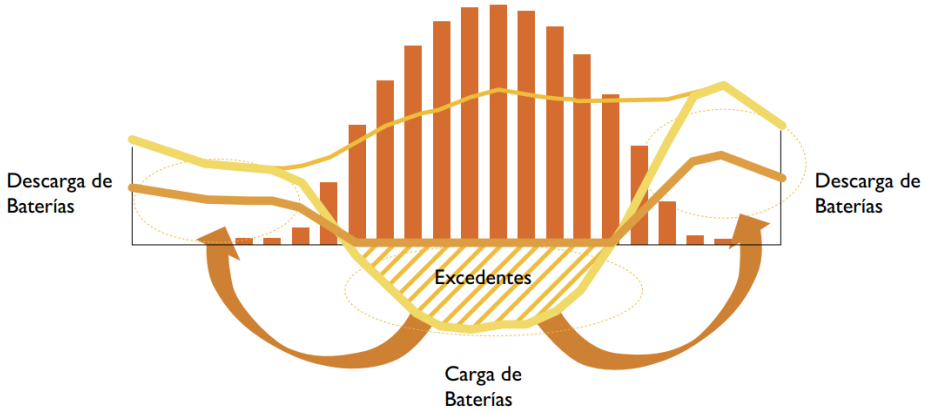

Figura 2. Ejemplo ilustrativo del efecto de la acumulación en la operación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico con baterías. Fuente: IDAE.[6]

La carga del sistema de almacenamiento térmico puede realizarse también a partir de calor residual de proceso. En el caso del sector cerámico, se podría aprovechar calor residual de los hornos para aportar parte del calor que puede almacenar la batería, de modo que se reduciría el consumo de energía eléctrica de la batería térmica, y por tanto sus costes de operación. En el caso de que parte de la carga del sistema se realice con calor residual del proceso, es importante contar con un sistema de almacenamiento térmico que sea compatible con ambos modos de carga: a partir de electricidad y a partir de gases calientes, ya que no todos lo permiten.

En términos de coste y escalabilidad, el almacenamiento térmico ofrece ventajas notables para grandes volúmenes. El coste de inversión (CAPEX) por kilovatio-hora de almacenamiento tiende a ser más bajo respecto a otras tecnologías de almacenamiento, debido a que puede emplear materiales abundantes y sencillos de obtener como agua, rocas o sales fundidas[7].

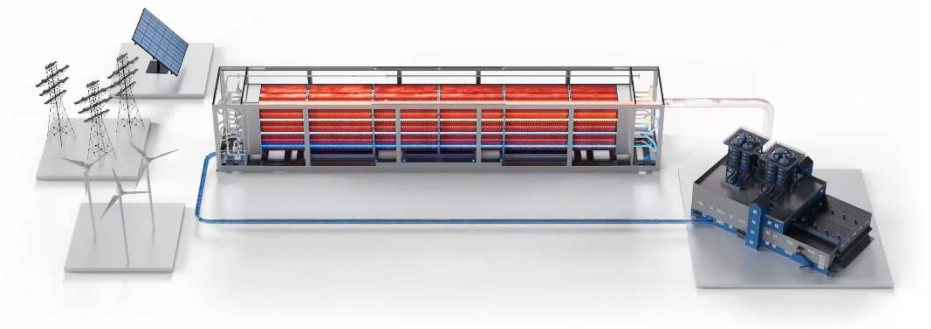

Figura 3. Integración de un sistema de almacenamiento térmico para desacoplar el consumo de una industria de la generación de energía. Por cortesía de BRENMILLER[8].

El almacenamiento térmico utiliza materiales inertes y muy abundantes, y presenta una larga vida útil, ya que los materiales de almacenamiento son muy estables y no se degradan significativamente con el ciclo. Sin embargo, requiere una cantidad de espacio considerable, dado que la densidad energética por volumen no es muy alta.

[6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2021. Estudio sobre el potencial fotovoltaico para autoconsumo en España.
[7] Escobar Mejía, A., & Holguín Londoño, M. (2011). Sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables. Scientia Et Technica, 1(47), 12–16.
[8] https://bren-energy.com/

© ITC-AICE 2025

3.2. Tecnologías de almacenamiento térmico

El almacenamiento térmico o almacenamiento de calor se divide en tres tipos, en función del mecanismo utilizado para almacenar el calor en el material que compone la batería térmica. Si el calor se almacena aumentando la temperatura de un material, se trata de calor sensible. Si el calor se almacena mediante el cambio de fase de solido a liquido de una sustancia, se trata de calor latente. Finalmente, si el calor se almacena mediante reacciones químicas, estamos ante un sistema de almacenamiento termoquímico.

- **Almacenamiento de calor sensible (temperatura)**

  Es la tecnología de almacenamiento térmico más utilizada en aplicaciones de escalas residencial e industrial. Su funcionamiento se basa en aumentar o disminuir la temperatura de un material líquido o sólido con una elevada capacidad calorífica con el objetivo de almacenar y liberar la energía térmica para aplicaciones de baja temperatura.

  Los principales retos tecnológicos que se deben superar para lograr una mayor implementación de la tecnología de almacenamiento de calor sensible son desarrollar sistemas flexibles e inteligentes de integración del almacenamiento térmico, desarrollar sistemas de gestión de la demanda y técnicas de operación y control para aplicaciones tanto industriales como residenciales, investigar en nuevos materiales de almacenamiento, reducir los costes del sistema, buscar nuevos materiales para poder operar en otros rangos de temperatura y mejorar el aislamiento de los sistemas.

- **Almacenamiento de calor latente (cambio de fase)**

  Los sistemas de almacenamiento de calor latente utilizan el calor latente del cambio de fase de un material para almacenar energía. El calor latente de fusión es la energía necesaria para cambiar el estado de una sustancia de sólido a líquido, y el calor latente de evaporación es la energía necesaria para cambiar el estado de una sustancia de líquido a gas. Las sales y los metales se pueden fundir, y el calor sensible y latente combinados se pueden utilizar para almacenar energía térmica con una mayor densidad energética.

  En este caso, los mayores retos tecnológicos se centran en este aspecto, en investigar en el desarrollo de nuevos sistemas que utilicen los mismos materiales de cambio de fase para el almacenamiento de calor sensible y latente, para, de esta manera, obtener mayores densidades de almacenamiento energético.

- **Almacenamiento termoquímico (enlaces químicos)**

  Con esta tecnología se pueden obtener densidades energéticas más elevadas que en el almacenamiento de calor sensible y latente y puede operar mediante reacciones químicas donde la energía se almacena en el calor de los procesos químicos reversibles y mediante procesos de adsorción y absorción. Estos sistemas emplean la energía térmica para disociar un determinado compuesto en dos productos reactivos. La recombinación de estos elementos reactivos produce una reacción exotérmica que libera la energía almacenada anteriormente.

  Se trata de una tecnología menos madura, que todavía debe superar las barreras del coste, la complejidad del diseño y la necesidad de mejorar las propiedades de los materiales para una mayor estabilidad del sistema.

© ITC-AICE 2025

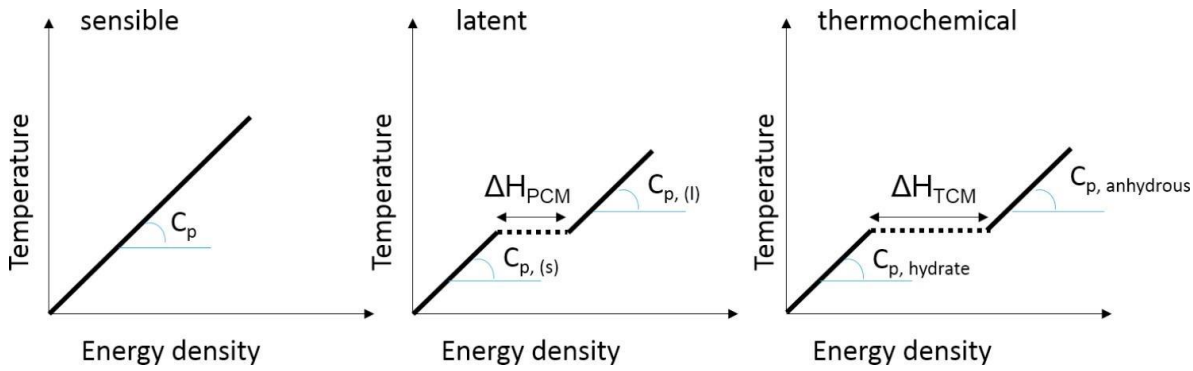

Figura 4. Diagrama temperatura - calor para las distintas tecnologías de almacenamiento.[9]

A continuación, se ofrece una tabla comparativa de las tres tecnologías de almacenamiento térmico descritas anteriormente.

Tabla 1. Comparativa entre las tecnologías de almacenamiento térmico[10].

Tecnología	Calor sensible	Calor latente	Termoquímica
Mecanismo de almacenamiento	Diferencia de temperatura	Cambio de fase de un material	Enlaces químicos
Densidad energética	200 – 500 kJ/kg (diferencial de temperatura entre 200 – 400 ºC)	100 –1.000 kJ/kg, según el material utilizado	Entre 300 y 6.000 kJ/kg, dependiendo de la reacción química
Nivel de madurez	Alto, escala industrial	Depende del material usado	Bajo, pruebas en laboratorio
Coste de la instalación	Menor	Intermedio	Mayor

Como se puede ver, la tecnología de almacenamiento térmico en calor sensible es la que actualmente ha alcanzado un mayor nivel de madurez, y la que ofrece un menor coste de instalación debido a su sencillez y el uso de materiales muy abundantes. En cambio, su densidad energética es baja, por lo que requiere un mayor tamaño de batería térmica, y, por tanto, más espacio.

Por otro lado, el almacenamiento en calor latente, que suele ir combinado con una parte de almacenamiento en calor sensible, puede ofrecer una mayor densidad energética, a cambio de un coste de instalación ligeramente mayor. El nivel de madurez de esta tecnología depende enormemente del material utilizado, siendo las sales minerales aquellas que encontramos a escala industrial.

Otras tecnologías, como las de almacenamiento electroquímico, todavía se encuentran, en su mayor parte, en desarrollo a nivel de laboratorio, pero existen pilotos demostradores que podrían ser interesantes en un futuro.

---

[9] L.C. Sögütoglu, P.A.J. Donkers, H.R. Fischer, H.P. Huinink, O.C.G. Adan (2015) In-depth investigation of thermochemical performance in a heat battery: Cyclic analysis of K2CO3, MgCl2 and Na2S. Applied Energy, Volume 215.

[10] Vallese, L., Javadi, H., Badenes, B., Urchueguia, J. F., Lombardo, G., Menegazzo, D., Ure, Z., Cesari, S., Bottarelli, M., Baccega, E., De Carli, M., Lopez, A., Sánchez, B., Mabe, L., Aydın, A. A., Bobbo, S., & Fedele, L. (2025). A comprehensive review of thermal energy storage technologies and their applications: Creation of a database. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, *225*, 116133. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116133

© ITC-AICE 2025

Tabla 2. Overview of Thermal Energy Storage technologies with their TRL. Fuente: EASE[11].

TES Technologies according to their categories	Technology Readiness Level		
	1-3	4-6	7-9
Most technologies already commercially available with track record of pilots and use cases:			
Sensible Heat			
Graphite			
Ceramics, silica and sand			
Molten Salts			
Concrete			
Rocks			
Steel			
Underground water			
Water			
Large range of technical maturity, with some already commercially available and others in the R&D phase:			
Latent Heat			
Microencapsulated metals			
Inorganic salts and eutectic mixtures			
Sodium			
Other liquid metals			
Molten aluminium alloy			
Paraffin waxes, fatty acids			
Salt hydrates			
Salt-water mixtures			
Ice			
Liquid air			
Relatively nascent with most technologies in the R&D or pilot phase:			
Thermochemical Heat			
Chemical Reaction Storage			
Absorption			

3.3. Tecnologías disponibles en el mercado

En este trabajo se han seleccionado cuatro sistemas de almacenamiento térmico, representativos de las diferentes tecnologías disponibles a nivel industrial.

Se han analizado dos equipos que trabajan con almacenamiento de calor sensible en sólidos, un sistema que emplea el almacenamiento de calor latente y calor sensible en sales minerales, y una solución basada en una combinación de tecnologías termoquímicas con calor sensible. De este modo, se pretende representar las diferentes tecnologías disponibles a día de hoy en el mercado por su nivel de madurez.

Por otra parte, dos de las soluciones estudiadas trabajan directamente con aire caliente, mientras que las otras dos utilizan un fluido de trabajo intermedio, que cede calor al proceso mediante intercambiadores de calor. Esta forma indirecta de aplicar el calor tiene la ventaja de no alterar los flujos de aire en los equipos de proceso, pero hay que considerar las posibles pérdidas de calor y de eficiencia por añadir una etapa intermedia adicional de intercambio de calor. Las soluciones que trabajan con aire también se pueden implementar con intercambiadores de calor aire-aire, si no se desea interferir en los flujos de aire de los equipos industriales de proceso.

En la Tabla 3, se muestran las características más relevantes de las soluciones de almacenamiento térmico, conocidas en el sector como Thermal Storage Systems o TES, analizadas en este estudio:

[11] European Association for Storage of Energy (EASE). 2023. Thermal Energy Storage Report.

© ITC-AICE 2025

Tabla 3. Tecnologías de almacenamiento térmico consideradas.

	TES 1	TES 2	TES 3	TES 4
Tecnología de almacenamiento	Calor sensible	Calor sensible	Calor latente	Termoquímico
Material de almacenamiento	Roca triturada	Arcilla	Sales minerales	Óxido metálico
Fluido de trabajo	Vapor de agua	Aire	Aceite térmico	Aire
Temperatura máxima en batería	700ºC	1250ºC	350ºC	1450ºC
Temperatura máxima de descarga	500ºC	1200ºC	350ºC	1200ºC
Equipo modular	Sí	Sí	Sí	Sí
Capacidad de almacenamiento mínima	10 MW	50 MW	3 MW	2,5 MW
Carga / descarga simultanea	Sí	Sí	Sí	Sí
Software de control de carga / descarga	Sí	Sí	Sí	Sí
Vida útil	+30 años	25 años	25 años	25 años

© ITC-AICE 2025

4. Descripción de los equipos

Los equipos industriales susceptibles de recibir calor procedente de una batería térmica son aquellos que tienen un elevado consumo de energía térmica. En la fabricación de baldosas cerámicas, estos equipos son los secaderos de suspensiones cerámicas por atomización, los secaderos de baldosas cerámicas recién conformadas, y los hornos de cocción de baldosas cerámicas.

Para cada uno de estos equipos, a continuación, se realiza una pequeña descripción de su funcionamiento básico y se determinan sus características técnicas, como producción y potencia, a partir de datos medios del sector y de otros estudios realizados anteriormente, destacando la "Guía de Tecnologías Hipocarbónicas para la Industria de Baldosas Cerámicas"[12]

4.1. Secaderos de materias primas por atomización

En la etapa de preparación de las materias primas, cuando la molienda se realiza en molinos vía húmeda, la suspensión obtenida se seca en los denominados secaderos por atomización.

La corriente de gases calientes de secado, a una temperatura entre 450 °C y 600 °C, puede provenir de un quemador de gas natural vena de aire y/o de los gases de escape de una turbina de cogeneración. La corriente de gases calientes se introduce en el atomizador por la parte superior impulsada por un ventilador y se pone en contacto en contracorriente con la barbotina.

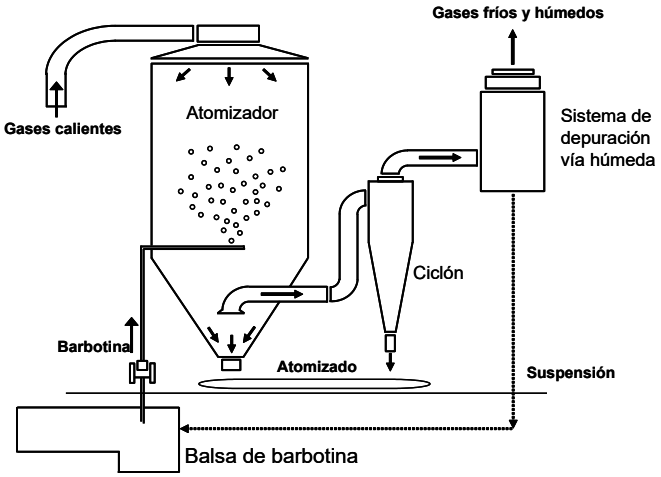

Figura 5. Esquema de funcionamiento de un atomizador.

Si se utilizan los gases de escape de un sistema de cogeneración, es habitual colocar en la conducción un quemador de postcombustión que permite alcanzar la temperatura deseada en el proceso, además de controlar el funcionamiento del atomizador, tal y como se observa en la Figura 6.

[12] Ferrer, S.; Mezquita, A.; Monfort, E.; Vedrí, J. Guía de Tecnologías Hipocarbónicas para la industria de baldosas cerámicas. ITC-AICE 2021, con el apoyo de la Generalitat Valenciana. ISBN 978-84-123808-1-1. https://www.itc.uji.es/

© ITC-AICE 2025

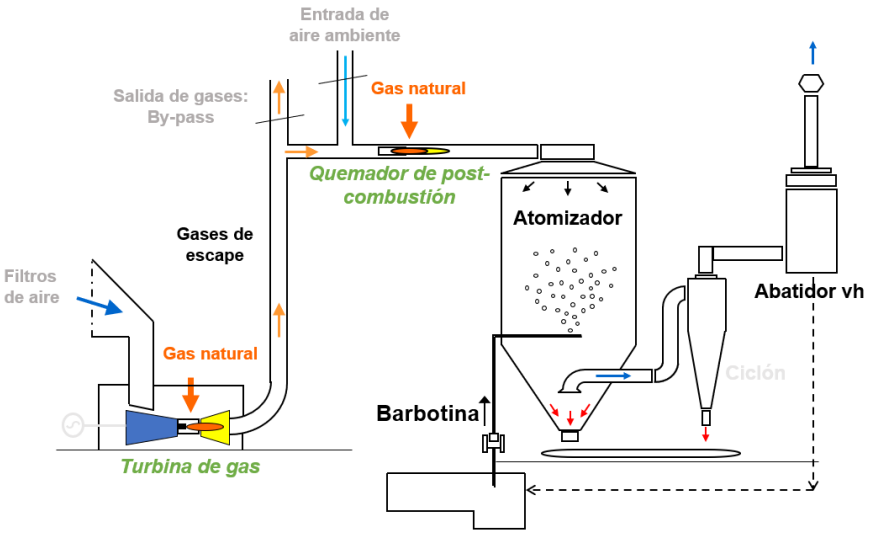

Figura 6. Esquema de una recuperación de calor de una turbina de cogeneración a un atomizador.

Los principales parámetros funcionales de un secadero por atomización usado en la industria cerámica son los siguientes:

Tabla 4. Características de un secadero por atomización

Atomizador	Valores medios
Temperatura de trabajo	450 - 600 ºC
Potencia térmica	10 MW
Modo de funcionamiento	En continuo
Horas de funcionamiento anuales	8.000 h/año
Consumo térmico anual	80.000 MWh/año

Dado el enorme consumo térmico de estos equipos, en este trabajo se va a considerar sustituir el 50% de la energía requerida en el atomizador por la proporcionada por el sistema de almacenamiento térmico.

4.2. Secaderos de baldosas cerámicas

El polvo granulado obtenido en los atomizadores contiene entre un 5 y un 7 % de agua, para facilitar la posterior etapa de conformado por prensado. Una vez prensado el polvo granulado y obtenidos los soportes cerámicos, antes de la etapa de decoración, se someten a un proceso de secado con dos objetivos: eliminar la humedad hasta valores próximos a 0, incrementando de este modo la resistencia mecánica para que la etapa de decoración pueda realizarse sin problemas de roturas, y aumentar su temperatura para que el esmaltado y decoración se realice correctamente.

El secado de las baldosas prensadas se puede llevar a cabo en secaderos verticales u horizontales, en los que una corriente de gases calientes procedentes, generalmente, de la combustión de gas natural, se pone en contacto directo con las piezas prensadas para evaporar el agua que contienen. Se trata, por tanto, de un secado por convección forzada de gases calientes.

En los secaderos de baldosas, sean estos de tipo horizontal o vertical, se recircula parte del aire utilizado para el secado. Los gases recirculados en los secaderos se encuentran a una temperatura

© ITC-AICE 2025

entre 120-150 °C al salir del secadero, y se recalientan mediante quemadores de gas natural hasta la temperatura de consigna establecida, que suele situarse en el rango 150-200 °C.

Tabla 5. Descripción de un secadero vertical.

Secadero de baldosas. Datos medios	
Temperatura de trabajo	150 – 200 ºC
Potencia térmica	0,65 MW
Modo de funcionamiento	En continuo de lunes a viernes. Fin de semana parado.
Horas de funcionamiento anuales	5.600 h/año
Consumo térmico anual	3.640 MWh/año

Se podría integrar el almacenamiento térmico mediante la instalación de intercambiadores de calor donde se ceda calor procedente del sistema de almacenamiento térmico mediante un fluido intermedio (por ejemplo, aceite térmico) a los gases de la recirculación. Los quemadores podrían ser reemplazados totalmente, dejándolos instalados como sistema de respaldo (backup), o parcialmente, descarbonizando un porcentaje del consumo energético del secadero.

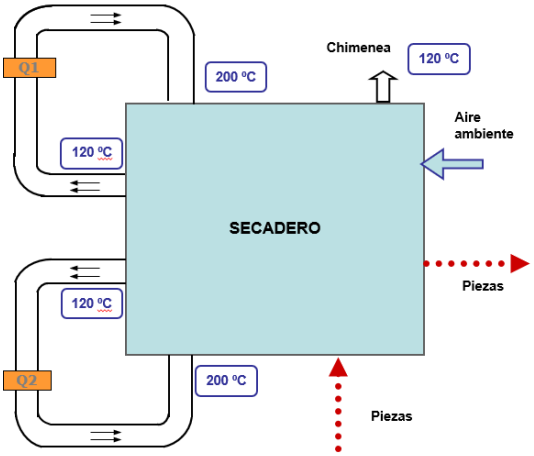

Figura 7. Esquema de un secadero de baldosas cerámicas y sus recirculaciones de calor.

4.3. Hornos de cocción de baldosas cerámicas

Las baldosas cerámicas se cuecen mayoritariamente en hornos continuos de rodillos, donde el aporte de calor se realiza por combustión de gas natural en quemadores situados en las paredes del horno, que utilizan como comburente aire a temperatura ambiente o precalentado.

© ITC-AICE 2025

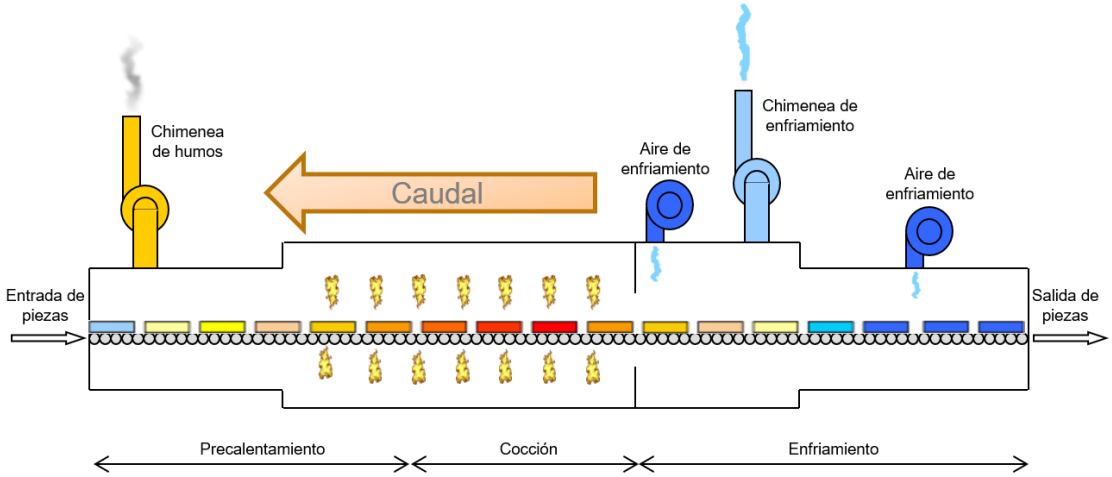

Figura 8. Esquema conceptual de un horno de rodillos.

Estos hornos están constituidos por una cámara con uno o dos planos de rodillos de material refractario por el que circulan las piezas desde un extremo al otro. La longitud del horno es variable y depende de la capacidad productiva de éste, pudiendo alcanzar en los de mayor tamaño hasta los 250 metros.

La temperatura de cocción y la duración del ciclo son muy variables y dependen del tipo de soporte, de la composición, del formato de las baldosas, de la producción del horno, del tipo de esmalte, etc. En general puede decirse que la temperatura máxima de cocción se sitúa entre 1.100 y 1.200 °C, y la duración media del ciclo de cocción entre 40 y 70 minutos, aunque en piezas de gran formato o con espesores elevados estos tiempos pueden incrementarse de manera significativa.

También cabe destacar la enorme importancia de mantener la temperatura de consigna en cada uno de los módulos del horno, siendo esta temperatura diferente para cada módulo y zona del horno.

Tabla 6. Descripción de un horno.

Horno de baldosas. Datos medios	
Temperatura máxima	1200 ºC
Potencia térmica	4 MW
Modo de funcionamiento	En continuo
Horas de funcionamiento anuales	8.000 h/año
Consumo térmico anual	32.000 MWh/año

Los gases de combustión procedentes de la zona de calentamiento y cocción se emiten al exterior por una chimenea que se encuentra a la entrada del horno. Previo paso por el ventilador de extracción, a dichos gases se les aporta una corriente de aire ambiente para reducir su temperatura y no dañar el ventilador de extracción. La temperatura a la que son vertidos a la atmósfera se encuentra entre los 180 y 200 °C. Estos gases pueden ser recirculados a secaderos, y podrían ser una fuente de calor residual adecuada para el sistema de almacenamiento térmico.

© ITC-AICE 2025

5. Definición de los escenarios

Con el objetivo de analizar la aplicación de los sistemas de almacenamiento térmico al proceso de fabricación de baldosas cerámicas, se han definido dos escenarios productivos representativos de empresas del sector cerámico, para así analizar las necesidades de calor totales que puede tener una empresa en función de su tipología.

En ambos escenarios se han contemplado dos situaciones, que se diferencian en considerar sólo los secaderos, o los secaderos y los hornos, debido a que los hornos de cocción de baldosas cerámicas presentan una serie de dificultades técnicas relacionadas con la elevada temperatura requerida las necesidades de control y adaptación a las curvas de temperatura programadas.

5.1. Escenario 1: Planta de fabricación con dos líneas productivas

El primer escenario considerado consiste en una planta de fabricación que produce unos 3-4 Mm^2/año. Analizando los datos generales del sector, se observa que este es un buen tamaño para representar aquellas plantas productivas de menor tamaño, que poseen dos líneas de producción de baldosas cerámicas.

Cada línea se ha considerado que está formada por un horno y dos secaderos de baldosas cerámicas. Se ha considerado que una planta productiva de este tamaño adquiere las materias primas granuladas de un proveedor externo, por lo que no se incluye atomizador. Se trata, por tanto, de una empresa de ciclo parcial.

En la Figura 9, se muestra de manera esquemática el escenario propuesto, indicando la potencia térmica de los equipos considerados.

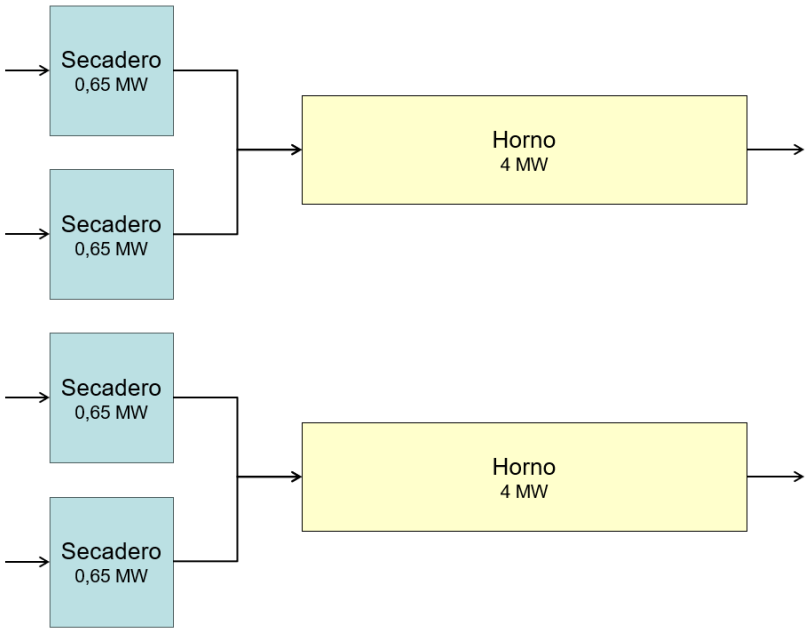

Figura 9. Escenario 1: Planta de fabricación con dos líneas productivas.

5.2. Escenario 2: Planta de fabricación con cinco líneas productivas

El segundo escenario analizado consiste en una planta de fabricación de ciclo completo que produce unos 10 Mm^2/año. En este trabajo se considera que este volumen de producción representa aquellas plantas productivas de mayor tamaño.

© ITC-AICE 2025

El análisis de la tipología de empresas del sector muestra que en las empresas de mayor tamaño hay más variabilidad en el tamaño de los equipos, en la cantidad de atomizadores, en el volumen total fabricado, etc., de modo que, para aplicar los resultados de este estudio lo más apropiado sería extrapolar los datos aquí mostrados a cada planta productiva en particular.

Este escenario cuenta con cinco líneas productivas, y, al igual que en el caso anterior, se ha considerado que cada línea productiva está formada por un horno y dos secaderos de baldosas cerámicas. Por otro lado, en este escenario se ha incluido un atomizador para producir una parte del gránulo atomizado consumido por la empresa, considerándose que el resto se compra a un proveedor externo.

Similarmente al caso anterior, en la Figura 10 se muestra un esquema del escenario descrito, con los principales equipos y su potencia térmica.

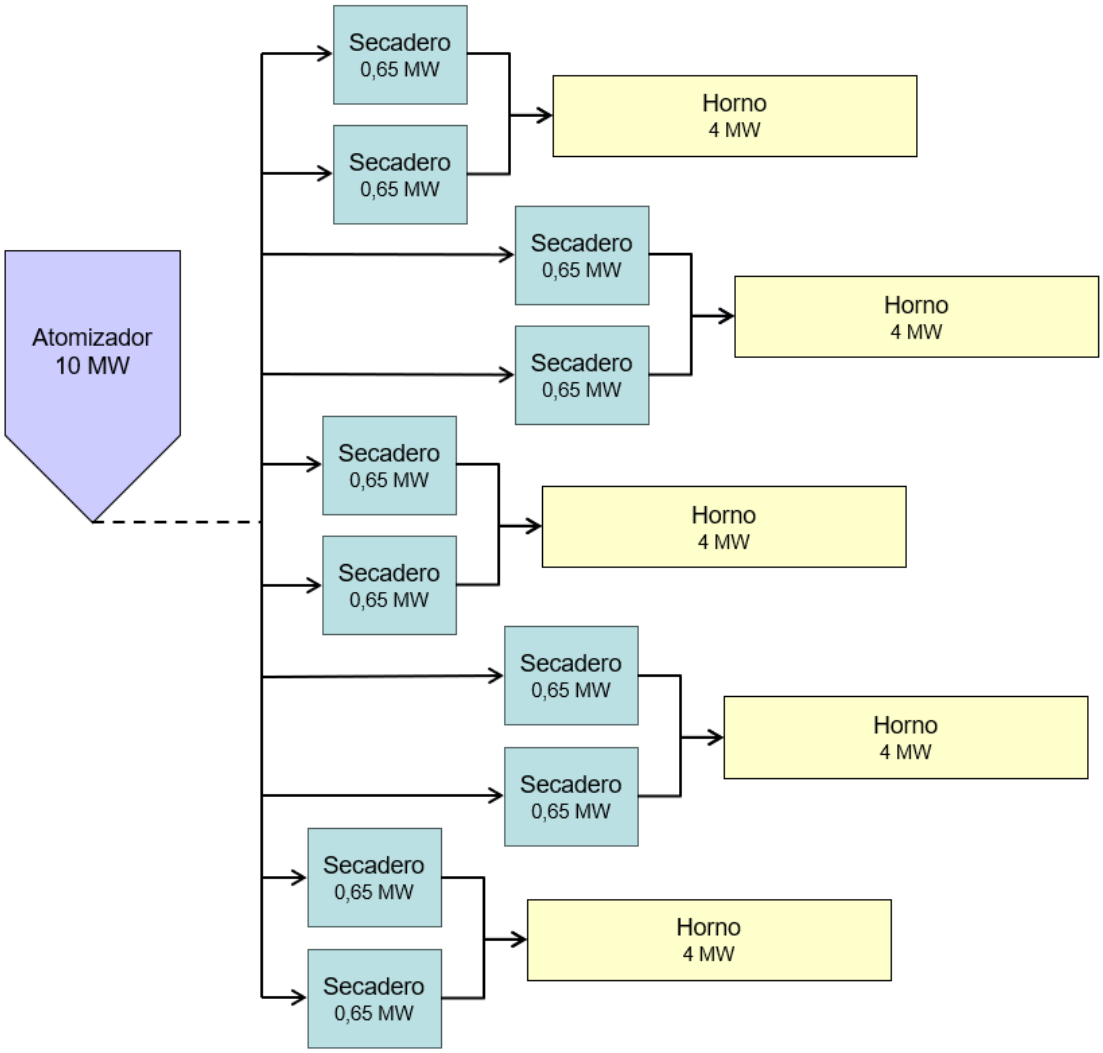

Figura 10. Escenario 2: Planta de fabricación con cinco líneas productivas y un atomizador.

© ITC-AICE 2025

6. Análisis de la integración del almacenamiento de calor en los equipos térmicos

6.1. Integración en un secadero de materias primas por atomización

Dado el elevado consumo térmico de un secadero por atomización, para integrar el almacenamiento de calor como fuente de calor en este equipo, se ha considerado que el calor aportado por la batería térmica sea un 50% del consumo energético, de manera que el 50% del calor sea proporcionado por un quemador de gas natural, o por un sistema de cogeneración existente, y el otro 50%, por el sistema de almacenamiento térmico. La suma de la energía aportada por ambos sistemas debe cubrir las necesidades térmicas del equipo, proporcionando el caudal de gases necesario a 500-600 ºC.

Figura 11.Uso de batería térmica combinada con quemador en atomizador. Por cortesía de REDOXBLOX[13].

El calor procedente desde la batería puede aportarse al atomizador:

- De manera directa, aportando aire caliente, que se mezcla posteriormente con los gases procedentes del quemador del atomizador o del sistema de cogeneración.

- De manera indirecta, calentando los gases de entrada al atomizador mediante un intercambiador de calor, donde cede la energía el fluido caliente procedente de la batería térmica, que puede ser vapor, aire, o un aceite térmico.

Es importante resaltar que actualmente, la mayoría de los atomizadores del sector funcionan de manera conjunta con turbinas de cogeneración, aprovechando los gases de escape de la turbina como gases de secado. Habría que estudiar la configuración de cada planta en particular, para lograr la mejor integración posible del aporte de calor procedente de la batería térmica para así minimizar el aporte de calor mediante la combustión de gas natural en los quemadores de postcombustión.

Los sistemas de cogeneración producen simultáneamente electricidad que, en la actualidad, puede autoconsumirse o verterse a la red - parcialmente (solo los excedentes) o en su totalidad- según la modalidad de consumo y los precios de la electricidad en cada momento. Dado que algunas instalaciones de cogeneración del sector cerámico, acogidas a un régimen retributivo, han alcanzado ya su vida útil regulatoria de 25 años o están próximas a hacerlo, los ingresos procedentes de la venta de la electricidad se verán reducidos de manera significativa.

La instalación de sistemas de almacenamiento de energía térmica en instalaciones donde exista una cogeneración, podrían además facilitar el arbitraje del vertido de electricidad a la red en función de los precios del mercado eléctrico, posibilitando una mejor gestión del abastecimiento de electricidad y la venta en función de los precios del mercado eléctrico y del gas natural.

[13] https://redoxblox.com/

© ITC-AICE 2025

6.2. Integración en un secadero de baldosas cerámicas

En el caso de los secaderos, dada su menor potencia térmica, se ha decidido reemplazar todo el consumo de gas natural como fuente de energía térmica, de manera que el 100% del calor sea proporcionado por el sistema de almacenamiento térmico.

Para ello, una opción que se plantea es la instalación de un intercambiador de calor en las recirculaciones de gases del secadero, tal como se muestra en la Figura 12. Este calor procedente de la batería térmica sustituye al calor aportado por el quemador, que queda como equipo de backup o de apoyo en situaciones en las que la batería no aporte todo el calor necesario para el proceso.

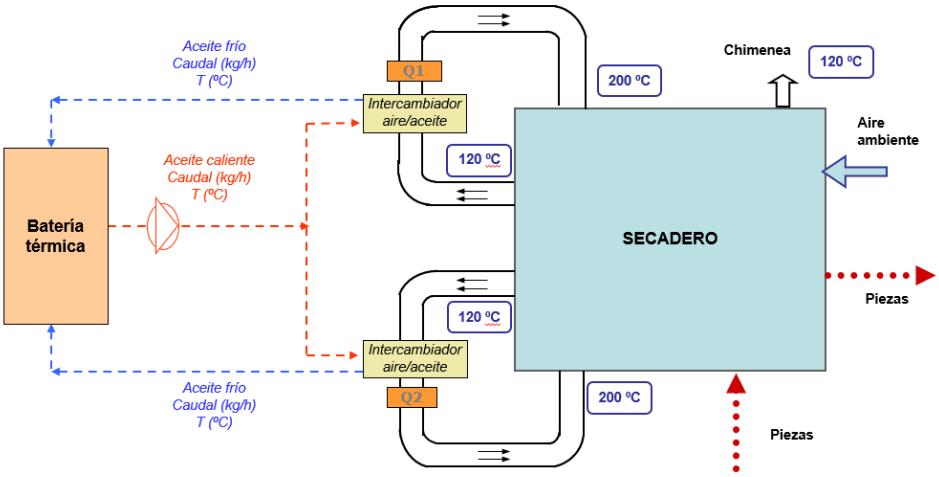

Figura 12. Esquema de la aplicación de una batería térmica en un secadero de baldosas cerámicas.

Tal y como se ve en el esquema, en este planteamiento el calor de la batería térmica no se aporta directamente al secadero con una entrada de aire caliente, sino de manera indirecta, cediendo el calor a los gases de secado con un fluido intermedio, en un intercambiador de calor.

Otra posibilidad sería aportar el calor de manera directa, mediante una entrada de aire caliente a las recirculaciones, aumentando la temperatura de estos gases antes del quemador, para reducir el consumo de gas. En este caso, para poder cubrir todo el consumo térmico del secadero, se debería incorporar un pequeño caudal de aire a muy alta temperatura, de manera que no se alterara considerablemente el equilibrio de presiones en la recirculación de gases en el secadero.

6.3. Integración en un horno de cocción de baldosas cerámicas

La máxima temperatura de trabajo en los hornos, así como la propia configuración de la distribución del calor a lo largo del mismo, son aspectos que dificultan enormemente la integración de un sistema de almacenamiento térmico en los hornos de cocción de baldosas cerámicas, aunque sea capaz de proporcionar un fluido a elevada temperatura.

En efecto, la necesidad de regular la temperatura en cada zona del horno, la gran longitud del horno y cantidad de puntos de aporte de calor (quemadores), los requerimientos de homogeneidad transversal de temperatura, etc. son aspectos que habría que considerar al integrar al aporte de calor procedente de una batería térmica al horno de manera directa a la cámara de combustión.

© ITC-AICE 2025

Figura 13. Horno de cocción de baldosas cerámicas.

Una posibilidad que facilitaría esta integración sería sustituir el aire de combustión por aire a alta temperatura procedente de la batería térmica. De esta manera, el control de la combustión y del ciclo de cocción se mantendría en los anillos de quemadores, sin modificar sustancialmente el modo actual de control y regulación en los hornos.

Actualmente, gran parte de los hornos ya incorporan precalentamiento del aire de combustión mediante recuperación de aire de la zona de enfriamiento, de manera que el aire entra a los quemadores a unos 100 – 220 ºC. Con la tecnología de almacenamiento térmico, se podría llegar a aumentar la temperatura del aire de combustión hasta valores mucho mayores, de alrededor de 600 ºC, con lo que el efecto de este precalentamiento sobre el ahorro de gas natural en el horno sería mucho mayor.

Con esta solución, se lograría una reducción significativa en el consumo de gas natural del horno, si bien habría que realizar modificaciones en el sistema de distribución del aire a los quemadores, para asegurar que todos los elementos del circuito de aire soportan la temperatura de trabajo que se establezca (conducciones, codos, válvulas, etc.), y habría que estudiar los parámetros de combustión para ajustarlos a las nuevas condiciones de funcionamiento, quizás reajustar o incluso rediseñar los quemadores para optimizar su funcionamiento y rendimiento y evitar problemas durante la cocción provocados por una mala distribución del calor generada por diferencias en la geometría de la llama.

También existe la posibilidad de inyectar directamente un caudal de aire muy caliente procedente del sistema de almacenamiento térmico en sustitución del quemador, aunque esto plantea el desafío de adaptar el horno a este cambio de paradigma, un cambio más profundo y con mayor incerteza sobre su posible funcionamiento y las adaptaciones necesarias para su correcta implementación.

A pesar de las dificultades comentadas, en este estudio se ha considerado igualmente conveniente el análisis de la integración de un sistema de almacenamiento térmico que aporte calor al horno, ya que es el equipo de proceso con mayor consumo de energía térmica y, por tanto, es de gran interés analizar opciones para reducir su consumo de gas natural y descarbonizar esta etapa.

Algunos de los sistemas de almacenamiento térmico analizados en este trabajo no proporcionan calor a la elevada temperatura requerida por los hornos. Por esta razón, la integración de los sistemas de almacenamiento térmico analizados TES 1 y TES 3 se descartan para esta aplicación.

© ITC-AICE 2025

7. Análisis de la integración del almacenamiento de calor en una planta productiva del sector cerámico.

7.1. Determinación del precio del gas natural y las emisiones de CO_2.

Para los cálculos económicos relativos a los costes operativos, se han considerado el coste del gas natural, el precio de las emisiones de CO_2, y el coste de la electricidad, durante la vida útil de una batería, que según los diferentes fabricantes se sitúa alrededor de 25 años.

En el caso del gas natural, el precio medio del índice de MIBGAS[14], principal referencia de los contratos de suministro de gas natural en el sector cerámico, entre enero de 2023 y octubre de 2025 se situó en 37 €/MWh. No obstante, este índice se refiere únicamente al coste de la materia prima y no tiene en cuenta, entre otros, los costes regulados que incluyen el transporte, distribución y almacenamiento del gas natural. Por tanto, un valor más realista podría ser el calculado a partir de la facturación energética de suministro de gas natural sectorial estimada por ASCER en su informe del año 2024[15], en el que resulta un coste medio del gas natural de 45,7 €/MWh.

El coste del gas natural se ha considerado que permanece constante, no se han considerado variaciones a futuro dada la dificultad de establecer un valor fiable y representativo para los próximos años, ya que se trata de un mercado muy volátil, sujeto a la situación geopolítica internacional. No obstante, los futuros a día de hoy de los mercados de gas natural, oscilan en niveles muy parecidos a los valores de los últimos meses.

Respecto a las emisiones de CO_2, según datos de Sendeco2[16], el precio medio de 2025 a finales de noviembre es de 72,69 €/t. Sin embargo, para el año 2030, se espera que su precio aumente a los 149 €/t[17]. Analizando estos datos, se decide tomar un precio para las emisiones de CO_2 de 130 €/t, estimando una media de la evolución del precio en los próximos 5 años, ya que estimar este valor a tiempos más largos es muy complejo e impreciso. Las emisiones de CO_2 procedentes de la combustión de gas natural son de 201,6 gCO_2/kWh[18], con lo que las emisiones de CO_2 suponen un coste actual de 14,7 €/MWh, pero a futuro se prevé un incremento hasta alcanzar los 26,35 €/MWh.

Así, el coste total asociado a generar 1MWh de calor mediante la combustión de gas natural es de 72 €/MWh, considerando tanto el coste del combustible como el de las emisiones.

Tabla 7. Coste de gas natural y emisiones considerado en el estudio.

Costes del gas natural y emisiones	
Coste gas natural (€/MWh)	45,7
Coste emisiones CO_2 (€/MWh) (actual)	14,7
Gas natural + CO_2 (€/MWh) (actual)	60,4
Coste emisiones CO_2 (€/MWh) (previsión a futuro)	26,4
Gas natural + CO_2 (€/MWh) (previsión a futuro)	72

[14] https://www.mibgas.es/
[15] ASCER (2025) Informe ASCER 2024. Producción, energía y CO2. https://portal.ascer.es/wp-content/uploads/2025/06/Informe-ASCER-2024-1.pdf
[16] https://www.sendeco2.com/es/precios-co2
[17] https://about.bnef.com/insights/commodities/europes-new-emissions-trading-system-expected-to-have-worlds-highest-carbon-price-in-2030-at-e149-bloombergnef-forecast-reveals
[18] España, Informe Inventarios GEI 1990-2022 (Edición 2024). Anexo7.

© ITC-AICE 2025

7.2. TES 1. Sistema de almacenamiento de calor sensible en roca triturada.

El sistema TES 1 es un sistema de almacenamiento térmico que funciona mediante la tecnología de almacenamiento sensible, es decir, un material que aumenta su temperatura al absorber calor, y al reducir su temperatura cede este calor. En el caso del sistema TES 1, el material que almacena la energía en forma de calor sensible es roca triturada. Esta se dispone en celdas apiladas que forman los bloques de la batería térmica. Cada celda dispone de conductos utilizados para la carga y descarga del sistema.

Figura 14. Sistema de almacenamiento de calor sensible en roca triturada. Por cortesía de BRENMILLER.[19]

La carga del sistema se puede realizar con electricidad o mediante fluido térmico (gases de escape, etc.), para descargar calor en forma de vapor saturado o sobrecalentado, aceite térmico, aire caliente, etc. En el caso de carga con electricidad, las resistencias eléctricas se localizan en los cuatro conductos exteriores de cada módulo *(efecto Joule)*, mientras que el fluido térmico a calentar fluye a través de la tubería central.

Figura 15. Carga y descarga del sistema TES1. Por cortesía de BRENMILLER.[19]

TES 1 es un sistema de almacenamiento térmico modular con una capacidad mínima de almacenamiento de 10 MWh, con una eficiencia del 97%, y sin degradación durante los ciclos de carga y descarga, al no disponer de partes móviles para su funcionamiento. Esto también hace que el mantenimiento sea mínimo.

La temperatura máxima de descarga es de 500ºC, por lo que, en este trabajo, se va a considerar su uso únicamente para cubrir el consumo de energía térmica de los secaderos, y el 50% del consumo

[19] https://bren-energy.com/

© ITC-AICE 2025

de calor del atomizador. No se considera el aporte de calor a los hornos de cocción de baldosas, en ninguno de los dos escenarios estudiados.

La energía térmica proporcionada por la batería es en forma de vapor a alta presión, aunque se están llevando a cabo nuevos desarrollos en los cuales podrá circular el aceite térmico de forma directa por el interior de la batería, eliminando así la actual necesidad de usar intercambiadores de calor vapor-aceite y el lazo de agua-vapor correspondiente.

En este trabajo, se ha considerado que la energía térmica proporcionada por la batería es vapor, y que intercambia calor con un aceite térmico, que es el fluido de trabajo que lleva la energía térmica hasta los equipos de proceso (atomizador y/o secaderos). También existe la opción de utilizar directamente el vapor como fluido de intercambio de calor con los equipos de proceso, si se considera más apropiado para una instalación en particular.

7.2.1. Escenario 1. Planta de fabricación con dos líneas productivas

Este escenario está formado por cuatro secaderos de 0,65 MW, es decir, una potencia total de 2,6 MW.

Se propone cargar el equipo con electricidad y obtener energía térmica en forma de vapor que cede su calor en un intercambiador de calor vapor-aceite térmico. El aceite térmico caliente se dirigirá a dos intercambiadores de calor aceite/gases de secado, situados en la recirculación de gases de cada secadero.

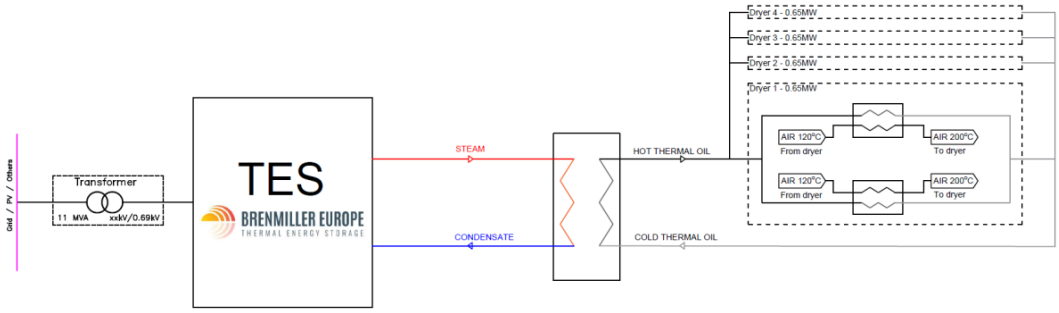

Figura 16. Instalación proyectada para la aplicación de la batería térmica TES 1 para el Escenario 1. Por cortesía de BRENMILLER.

Para este caso, se ha calculado instalar un sistema de almacenamiento térmico con una capacidad de 42 MWh, cargando con una potencia de 11 MW durante 7 horas y descargar vapor saturado a 30 bar, vapor que cede su calor en los intercambiadores de calor vapor/aceite. En este caso, el almacenamiento térmico cubre el 100% de la demanda térmica anual de los cuatro secaderos.

© ITC-AICE 2025

Tabla 8. Principales parámetros del sistema TES 1 para el Escenario 1.

TES 1. Escenario 1	
Equipos destinatarios del calor	Secaderos
Nº equipos	4
Líquido térmico	Vapor agua
Presión	30 bar
Demanda térmica total (MW)	2,6
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	17
Tiempo de carga (h/día)	7
Capacidad necesaria (MWh)	42
Potencia de carga (MW)	11

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 20.592 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 4.174 t CO_2/año.

Tabla 9. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 1 en el escenario 1.

TES 1. Escenario 1.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	62,4
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	62,40
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	20.592
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	1.925.026
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	4.174
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	20.592

7.2.2. Escenario 2. Planta de fabricación con cinco líneas productivas.

Este escenario incluye diez secaderos de 0,65 MW, es decir, una potencia total de 6,5 MW. Además, se requieren 10 MW para un atomizador. El objetivo con la incorporación de la batería térmica es que ésta cubra el 50% de la demanda del atomizador, es decir, 5 MW.

En este escenario, con la tecnología de almacenamiento TES 1, se propone un sistema de almacenamiento independiente para cada caso, es decir, uno para el atomizador y otro para el conjunto de secaderos.

En el caso del atomizador, el sistema de almacenamiento térmico proporciona aire caliente, tal como se observa en la Figura 17.

© ITC-AICE 2025

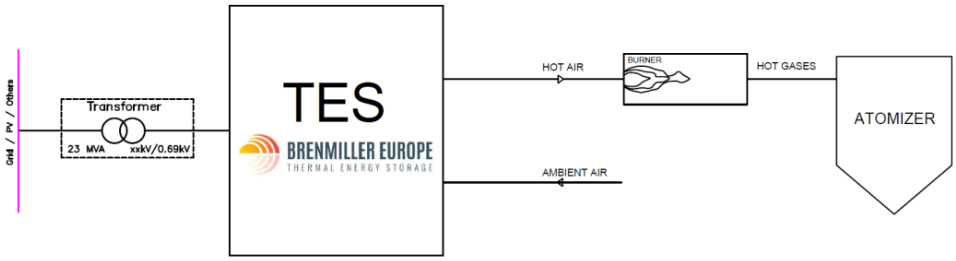

Figura 17. Instalación proyectada para la aplicación de la batería térmica TES 1 en un atomizador (escenario 2). Por cortesía de BRENMILLER.[19]

En este caso se necesita un sistema de almacenamiento con capacidad de 85 MWh, cargando durante 7 horas con una potencia de 23 MW y 5 MW de descarga. El aire caliente será entregado por el sistema a 250 ºC, y los 5 MW restantes (para llegar a los 10 MW) los aportaría el quemador de gas natural existente.

En el caso de los secaderos, el sistema de almacenamiento térmico proporciona el calor mediante intercambiadores, de manera similar a como se hace en el escenario 1, tal como se observa en la Figura 18 .

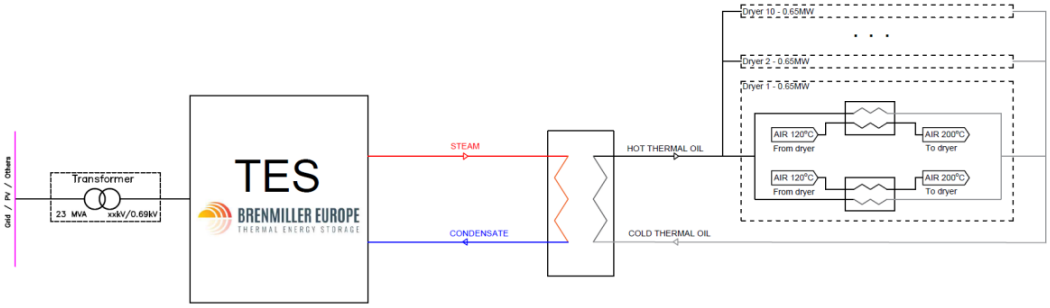

Figura 18. Instalación proyectada para la aplicación de la batería térmica TES 1 para el Escenario 2. Secaderos. Por cortesía de BRENMILLER.[19]

En este caso se instalaría un sistema de almacenamiento de capacidad 85 MWh, cargando durante 7 horas con una potencia de 23 MW y 7 MW de descarga de vapor, que alimentará un intercambiador de calor vapor-aceite térmico. El intercambiador se integrará en el sistema de aceite del secadero.

Tabla 10. Principales parámetros del sistema TES 1 para el escenario 2.

TES 1. Escenario 2			
Equipos destinatario del calor	**Atomizador**	**Secaderos**	**Total**
Nº equipos	1 (50%)	10	11
Fluido térmico	Aire	Vapor agua	-
Demanda térmica total (MW)	5	6,5	11,5
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	17	17	17
Tiempo de carga (h/día)	7	7	7
Capacidad necesaria (MWh)	85	85	170
Potencia de carga (MW)	5	7	12

© ITC-AICE 2025

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 91.080 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 18.462 t CO_2/año.

Tabla 11. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 1 en el escenario 2.

TES 1. Escenario 2.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	276
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	276,00
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	91.080
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	8.514.537
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	18.462
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	91.080

7.3. TES 2. Sistema de almacenamiento de calor sensible en arcilla.

El sistema denominado TES 2 en este trabajo se trata, al igual que el anterior, de un sistema de almacenamiento de energía térmica en calor sensible. Consiste en un material, en este caso de composición arcillosa, que aumenta su temperatura por un aporte externo de energía, y que cede esta energía al pasar aire frío por el sistema, disminuyendo así su temperatura. Se obtiene, de este modo, una corriente de energía en forma de calor con aire a alta temperatura. Su temperatura interna puede llegar a los 1200ºC, y está diseñado para trabajar con grandes consumos, del orden de los megavatios.

El aporte de energía al material se puede realizar con una corriente de aire caliente, previamente calentada mediante resistencias eléctricas, y también mediante el aprovechamiento de una corriente de calor residual.

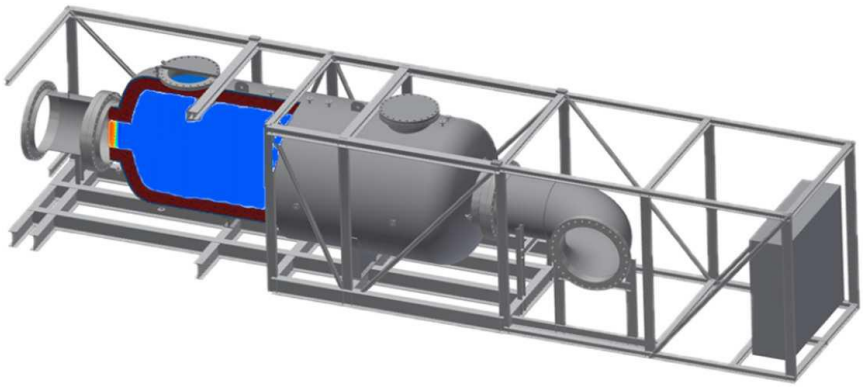

Figura 19. Sistema de almacenamiento TES 2. Por cortesía de JOHN COCKERILL[20].

El sistema de almacenamiento térmico funciona con un circuito cerrado de aire caliente, sobre el que diversos equipos inyectan o extraen calor, tal como se muestra en la Figura 19. Esto dota al sistema de una gran versatilidad, y reduce la capacidad energética necesaria en la batería, ya que parte del calor se consume de manera directa, sin pasar por la batería. En este trabajo, para la aplicación de este sistema se considera que el aporte de calor se realiza únicamente con aire caliente calentado con electricidad, que no hay aporte energético por recuperación de calor residual.

[20] https://johncockerill.com/en/

© ITC-AICE 2025

Una de las características relevantes de este sistema es la necesidad de instalar una caldera eléctrica para calentar el aire, lo que incrementa la inversión necesaria. Esto puede ser compensado por el menor tamaño de la batería, que supone una reducción en los costes de adquisición del equipo.

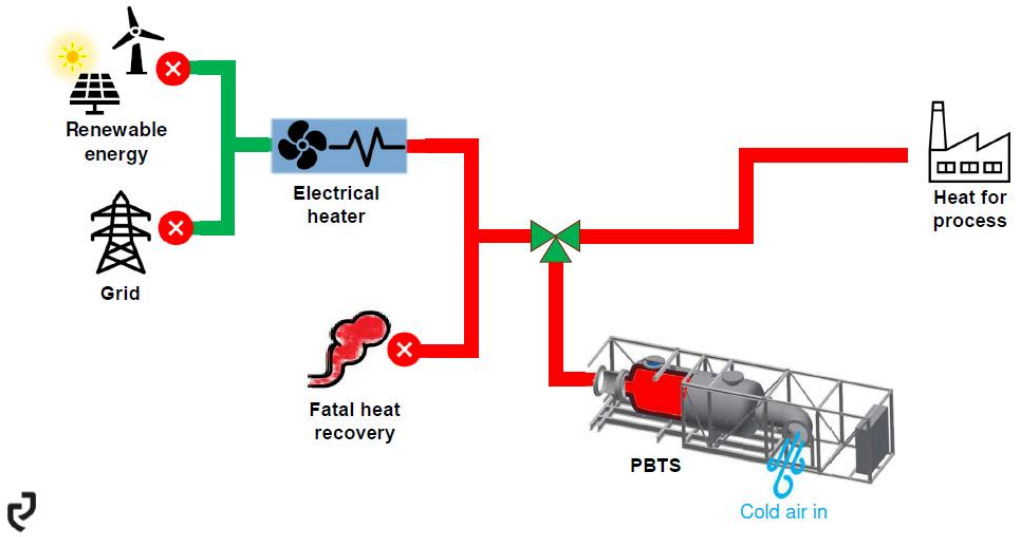

Figura 20. Funcionamiento del bucle de aire caliente del sistema de almacenamiento TES 2. Por cortesía de JOHN COCKERILL[20].

La capacidad mínima recomendada para esta batería térmica, según el fabricante, es de 5 MWh a 1200ºC, y se recomienda que el consumo de electricidad a cubrir sea de al menos 3 MWh por hora, para que la instalación tenga un periodo de retorno de la inversión razonable.

Para la aplicación de esta batería térmica en el proceso de fabricación de baldosas, se ha calculado qué cantidad de horas conviene en la instalación industrial trabajar con aporte de energía procedente de la batería térmica, es decir, con consumo de energía eléctrica y qué cantidad de horas es mejor seguir consumiendo gas natural, con el objetivo de optimizar el sistema para minimizar el periodo de retorno de la inversión.Para ello se ha asumido una vida útil del equipo de 25 años, realizando entre 1 y 2 ciclos de carga-descarga diarios, y un tiempo de carga completa de cinco horas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes escenarios productivos considerados.

7.3.1. Escenario 1. Planta de fabricación con dos líneas productivas

A) <u>Sin considerar los hornos</u>

No se ha considerado la aplicación de esta batería térmica en los secaderos de plantas de fabricación pequeñas, dado que la potencia consumida por el conjunto de los secaderos (2,6 MW), es muy pequeña respecto a la menor potencia nominal del sistema de almacenamiento térmico a la que se considera interesante su aplicación. El resultado de tal caso sería la instalación de un sistema de almacenamiento sobredimensionado, que no resultaría rentable económicamente, dada la elevada inversión requerida y el poco ahorro energético alcanzado, de modo que se obtendrían tiempos de retorno de la inversión muy largos.

B) <u>Considerando los hornos.</u>

Sin embargo, la inclusión de los hornos como equipo consumidor de energía procedente de la batería sí se ha analizado, ya que la potencia total requerida por la planta de fabricación sería mayor, considerando que la batería térmica cubre el total de la demanda térmica de los 4 secaderos y de los dos hornos.

© ITC-AICE 2025

- Potencia térmica dos hornos – 8 MW.
- Potencia térmica cuatro secaderos – 2,6 MW.

El consumo total de energía en la planta, a suministrar por la batería térmica, asciende en este caso a 10,6 MW.

A partir de este consumo total, se ha buscado la forma de integrar la batería térmica en la instalación para que la energía aportada al proceso tenga un mejor coste. El resultado de la instalación proyectada se muestra en la Figura 21, y cuenta con los siguientes equipos:

- Calentador eléctrico para calentar aire a 1200ºC, con una potencia de 20 MW.
- Sistema de almacenamiento térmico a 1200ºC, con una capacidad de almacenamiento de 70 MWh.
- Intercambiador de calor de los hornos, que suministra aire a 1200ºC, con una potencia total consumida de 8 MW.
- Intercambiador de calor de los secaderos, que suministra aire a 200ºC, con una potencia total consumida de 2,6 MW.

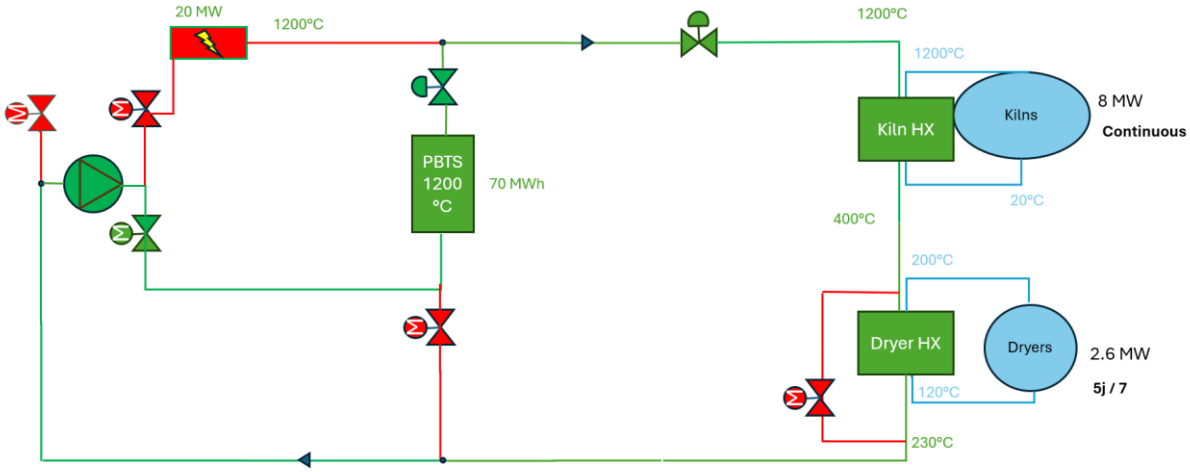

Figura 21. Instalación proyectada para la aplicación de la batería térmica TES 2 para el Escenario 1. Por cortesía de JOHN COCKERILL[20].

Para poder cargar la batería térmica durante periodos de menor precio de electricidad, se ha considerado que la batería realiza dos ciclos parciales de carga y descarga al día, cargando en las horas de la noche, y en las horas centrales del día, en las que hay una mayor producción de energía solar fotovoltaica. Esto nos permite reducir el tamaño de la batería respecto a la opción de un ciclo al día, y aprovechar todas las horas en que la energía eléctrica es barata.

Con el objetivo de que solo se consuma energía eléctrica en estas horas más baratas, es decir, en aquellas horas en las que el precio de la electricidad sea menor al del gas natural + emisiones de CO_2, se considera que la energía eléctrica consumida por el sistema de almacenamiento sea la necesaria para cubrir el 57% de la demanda térmica diaria de la empresa, trabajando el resto del tiempo los secaderos y hornos con gas natural. Alrededor del 50% del calor generado a partir de energía eléctrica, se consumirá de manera directa desde la caldera eléctrica hasta los hornos y secaderos, mientras que el otro 50% (25 – 30% del total), será la energía que se almacene en la batería térmica y se descargue más adelante, en los momentos de mayor precio de la electricidad.

En la Tabla 12 se resumen los principales valores de esta solución:

© ITC-AICE 2025

Tabla 12. Principales parámetros del sistema TES 2 para el escenario 1 con hornos.

TES 2. Escenario 1 con hornos.	
Demanda térmica (MW)	10,6
Porcentaje de la demanda térmica que se cubre con energía eléctrica	57%
Porcentaje de la demanda térmica que cubre la batería	25 – 30%
Ciclos / día (parciales)	1 – 2
Potencia del calentador eléctrico (MW)	20
Potencia de carga y descarga de la batería (MW)	10
Capacidad de la batería térmica (MWh)	70
CAPEX (M€)	16

Así, la inversión necesaria para esta instalación, que cubriría el 57% de las necesidades de energía térmica de una planta de fabricación con dos hornos y cuatro secaderos, es, aproximadamente, de 16 millones de euros.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 47.853 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 9.700 t CO_2/año.

Tabla 13. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 2 en el escenario 1 con hornos.

TES 2. Escenario 1 con hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	254,4
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	145,01
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	47.853
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	4.473.464
Emisiones de CO2 ahorradas (t CO_2 / año)	9.700
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	47.853

Para el caso del sistema de almacenamiento TES 2, se ha considerado la opción de consumo de electricidad en horas baratas, a precio del mercado libre. La carga se realiza entre 6 y 7 horas al día, en aquellos momentos en que el precio de la electricidad es más barato que el del gas natural. Un sistema de gestión de la energía predice las horas en que la energía será más barata para cargar la batería.

Con este software de gestión de la energía del TES, con los datos del precio por hora de 2024, se obtiene un periodo de retorno de la inversión de unos 10 años.

7.3.2. Escenario 2. Planta de fabricación con cinco líneas productivas.

A) <u>Sin considerar los hornos</u>

La aplicación de este tipo de batería térmica en empresas de mayor tamaño, únicamente para aportar calor al atomizador y a los secaderos, considerando que aporta el total de la demanda térmica de estos equipos, resulta en una instalación que debe cubrir las siguientes potencias:

© ITC-AICE 2025

- Potencia térmica del atomizador – 10 MW.
- Potencia térmica de diez secaderos – 6,5 MW.

El consumo total de energía en la planta, a suministrar por la batería térmica, asciende en este caso a 16,5 MW. El resultado de la instalación proyectada se muestra en la Figura 22, y cuenta con los siguientes equipos

- Calentador eléctrico para calentar aire a 1200ºC, con una potencia de 36,5 MW.
- Sistema de almacenamiento térmico a 1200ºC, con una capacidad de almacenamiento de 100 MWh.
- Intercambiador de calor del atomizador, que suministra aire a un máximo de 600ºC, con una potencia total consumida de 10 MW.
- Intercambiador de calor de los secaderos, que suministra aire a 200ºC, con una potencia total consumida de 6,5 MW.

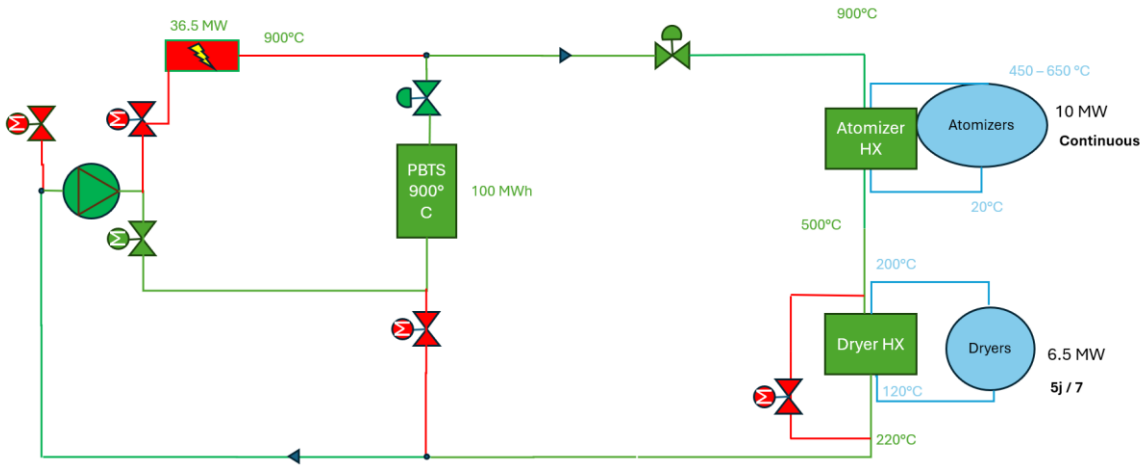

Figura 22. Instalación proyectada para la aplicación de la batería térmica TES 2 para el caso 4. Por cortesía de JOHN COCKERILL[20].

Al igual que en el caso anterior, para poder cargar la batería térmica durante periodos de menor precio de electricidad, se ha considerado que la batería realiza dos ciclos parciales de carga y descarga al día, cargando en las horas de la noche, y en las horas centrales del día, en las que hay una mayor producción de energía solar fotovoltaica. Esto permite reducir el tamaño de la batería respecto a la opción de un ciclo al día, y aprovechar todas las horas en que la energía eléctrica es barata.

Con el objetivo de que solo se consuma energía eléctrica en estas horas más baratas, es decir, en aquellas horas en las que el precio de la electricidad sea menor al del gas natural + emisiones de CO_2, se considera que la energía eléctrica consumida por el sistema de almacenamiento sea la necesaria para cubrir el 61% de la demanda térmica diaria de la empresa, trabajando el resto del tiempo los secaderos y atomizador con gas natural. Alrededor del 50% del calor generado a partir de energía eléctrica, se consumirá de manera directa desde la caldera eléctrica hasta los hornos y secaderos, mientras que el otro 50% (30% del total), será la energía que se almacene en la batería térmica y se descargue más adelante, en los momentos de mayor precio de la electricidad.

En la Tabla 14 se muestran los parámetros más relevantes de esta solución:

© ITC-AICE 2025

Tabla 15. Principales parámetros del sistema BAT2 para el escenario 2 sin hornos.

TES 2. Escenario 2 sin hornos.	
Demanda térmica (MW)	16,5
Porcentaje de la demanda térmica que se cubre con energía eléctrica	61%
Porcentaje de la demanda térmica que cubre la batería	30%
Ciclos / día (parciales)	2
Potencia del calentador eléctrico (MW)	36,5
Potencia de carga y descarga de la batería (MW)	20
Capacidad de la batería térmica (MWh)	100
CAPEX (M€)	29

La inversión necesaria para esta instalación, que cubriría el 61% de las necesidades de energía térmica de una planta de fabricación con un atomizador y 10 secaderos, es, aproximadamente, de 29 millones de euros.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 79.715 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 16.158 t CO_2/año.

Tabla 16. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. Implementación de TES 2 en el escenario 2 sin considerar los hornos.

TES 2. Escenario 2. Sin hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	396
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	241,56
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	79.715
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	7.452.071
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	16.158
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	79.715

El periodo de retorno de la inversión se sitúa en 11 años, si se realiza un seguimiento en continuo del precio de la electricidad hora a hora frente al del gas natural y las emisiones, y se aprovechan las horas en las que la electricidad es más barata que el gas para realizar la carga de la batería.

B) <u>Considerando los hornos</u>

Se ha considerado, inicialmente, cubrir con el sistema de almacenamiento térmico los siguientes consumos:

- Potencia térmica del atomizador – 10 MW.
- Potencia térmica diez secaderos – 6,5 MW.
- Potencia térmica de cinco hornos – 20 MW

El consumo total es de 36,5 MW. Dado que este valor es muy alto, se ha decidido que para este caso de estudio únicamente se va a cubrir el 50% del consumo del atomizador y de los hornos, de manera que el consumo total será de 21,5 MW.

© ITC-AICE 2025

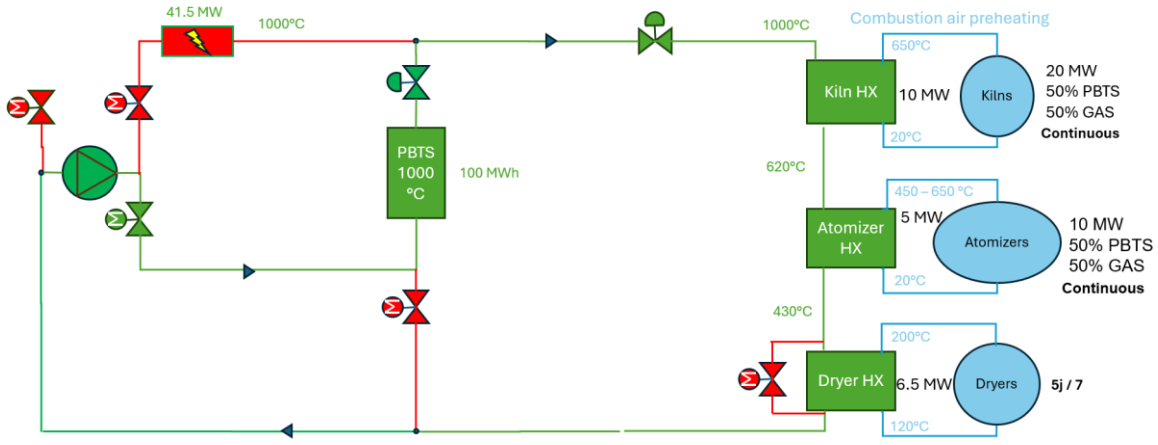

Figura 23. Ciclo de descarga de la batería térmica TES 2 para el escenario 2, caso 1. Por cortesía de JOHN COCKERILL.

Al igual que en el caso anterior, para poder cargar la batería térmica durante periodos de menor precio de electricidad, se ha considerado que la batería realiza dos ciclos parciales de carga y descarga al día, cargando en las horas de la noche, y en las horas centrales del día, en las que hay una mayor producción de energía solar fotovoltaica. Esto permite reducir el tamaño de la batería respecto a la opción de un ciclo al día, y aprovechar todas las horas en que la energía eléctrica es barata.

Con el objetivo de que solo se consuma energía eléctrica en estas horas más baratas, se considera que la energía eléctrica consumida por el sistema de almacenamiento sea la necesaria para cubrir el 57% de la demanda térmica considerada en este caso, trabajando el resto del tiempo los secaderos, atomizador y hornos con gas natural. Como solo se ha considerado cubrir el 50% del calor aportado al horno y secaderos, el porcentaje de la demanda total de los equipos térmicos que se cubre con electricidad se reduce al 35,5%.

Alrededor del 50% del calor generado a partir de energía eléctrica, se consumirá de manera directa desde la caldera eléctrica hasta los hornos y secaderos, mientras que el otro 50% (18% del total), será la energía que se almacene en la batería térmica y se descargue más adelante, en los momentos de mayor precio de la electricidad.

En la Tabla 17 se muestran los parámetros más relevantes de esta solución:

© ITC-AICE 2025

Tabla 18. Principales parámetros del sistema BAT2 para el escenario 2 con hornos.

TES 2. Escenario 2 con hornos.	
Demanda térmica total (MW)	36,5
Porcentaje de la demanda térmica que se cubre con energía eléctrica	35,5%
Demanda térmica a cubrir (MW)	21,5
Porcentaje que se cubre con energía eléctrica	57%
Porcentaje de la demanda térmica que cubre la batería	25 – 30%
Ciclos / día (parciales)	2
Potencia del calentador eléctrico (MW)	41,5
Potencia de carga y descarga de la batería (MW)	20
Capacidad de la batería térmica (MWh)	100
CAPEX (M€)	34

Así, la inversión necesaria para esta instalación, que cubriría el 35,5 % de las necesidades de energía térmica de una planta de fabricación con un atomizador, 10 secaderos y 5 hornos, es, aproximadamente, de 34 millones de euros.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 97.060 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 19.674 t CO_2/año.

Tabla 19. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 2 en el escenario 2 con hornos.

TES 2. Escenario 2. Con hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	516
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	294,12
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	97.060
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	9.073.535
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2/año)	19.674
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	97.060

El periodo de retorno de la inversión se sitúa en 11 años, si se realiza un seguimiento en continuo del precio de la electricidad hora a hora frente al del gas natural y las emisiones, y se aprovechan las horas en las que la electricidad es más barata que el gas para realizar la carga de la batería.

© ITC-AICE 2025

7.4. TES 3. Sistema de almacenamiento de calor latente en sales minerales.

Este sistema de almacenamiento está enfocado a la descarbonización de procesos de baja y media temperatura, pues la temperatura máxima de operación es de 350ºC. Es por esto que, en este trabajo, se va a considerar su uso únicamente para cubrir el consumo de energía térmica de los secaderos, y el 50% del consumo de calor del atomizador. No se considera el aporte de calor a los hornos de cocción de baldosas, en ninguno de los dos escenarios estudiados.

En esta tipología de batería térmica, la energía se almacena tanto en forma de calor sensible (aumento de temperatura del material), como en forma de calor latente (cambio de fase en las sales minerales). Esto aumenta la capacidad de almacenamiento por metro cuadrado, pero limita la temperatura máxima que el sistema puede alcanzar en su funcionamiento normal.

Figura 24. Sistema de almacenamiento de calor latente en sales minerales de baja temperatura. Por cortesía de GREENDUR[21].

El sistema de almacenamiento térmico funciona con un circuito cerrado de aceite térmico, sobre el que diversos equipos inyectan o extraen calor, tal como se muestra en la Figura 25. Este modo de funcionamiento facilita la versatilidad del sistema y por tanto su integración en diferentes escenarios.

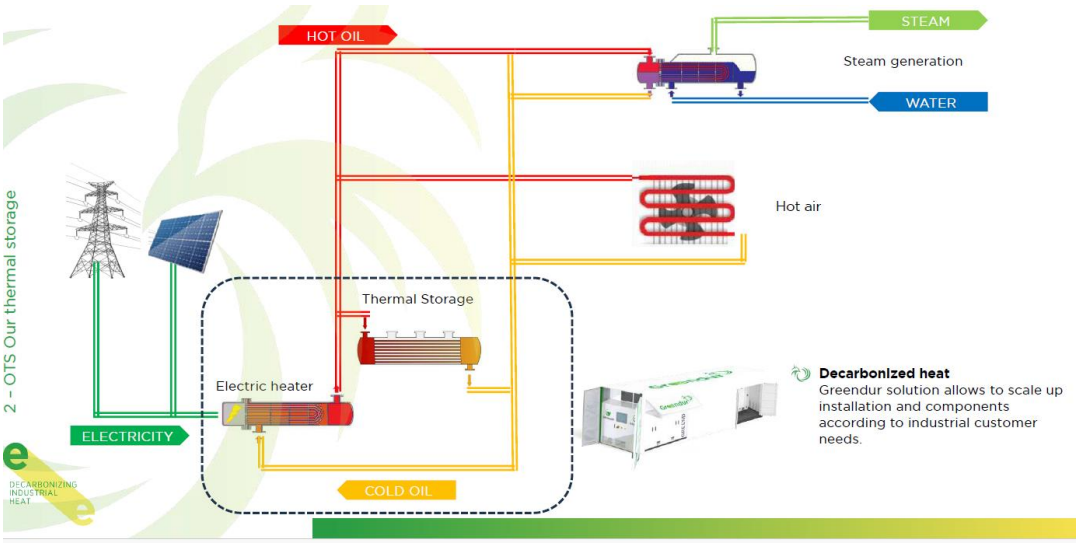

Figura 25. Esquema general del circuito aceite del sistema BAT3. Por cortesía de GREENDUR[21].

[21] https://greendur.com/

© ITC-AICE 2025

El sistema de almacenamiento térmico cuenta con una caldera eléctrica, la batería térmica de sales minerales, y tantos intercambiadores de calor como equipos de proceso haya donde se requiera suministrar el calor. También se pueden incorporar al sistema intercambiadores de calor para aprovechar calor residual que pueda haber disponible en las instalaciones, aunque en este trabajo esta opción no se ha considerado.

El sistema mostrado puede funcionar en tres modos:

1. Si el calor (energía térmica) suministrado es mayor al consumido en los equipos de proceso, se carga la batería térmica con el calor excedente.
2. Si el calor suministrado es menor al consumido, se descarga la batería térmica, aportando el calor extra necesario.
3. Si el calor suministrado es igual al consumido, este se consume directamente sin pasar por la batería térmica.

Para dimensionar este sistema de almacenamiento, se ha considerado un tiempo de carga de la batería de 4h, en el que se suministra también calor de manera directa de la caldera eléctrica a los secaderos, hornos y atomizador, y un tiempo de descarga de 20h, en que el calor suministrado procede de la batería térmica.

7.4.1. Escenario 1. Planta de fabricación con dos líneas productivas

En este escenario se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico el total de la demanda térmica de los cuatro secaderos, que es un total de 2,6 MW. Se plantea cubrir el 100% de esta demanda con calor generado por el sistema de almacenamiento térmico.

Para cubrir este consumo, tomando aire a temperatura ambiente, se necesitaría mantener un flujo de calor extraído a la batería de 2,6 MW. Para mantener este flujo de calor durante las 19 horas de descarga, se necesita contar en la batería con una capacidad de almacenamiento de 52 MWh. Dado que la capacidad de un módulo es de 3 MWh, se necesitan 18 módulos, disponiendo de este modo con una capacidad total de 54 MWh.

A continuación, se muestra en esta tabla los principales parámetros calculados para esta instalación:

Tabla 20. Principales parámetros del sistema TES 3 para el escenario 1.

TES 3. Escenario 1	
Equipo destinatario del calor	Secaderos
Nº equipos	4
Demanda térmica total (MW)	2,6
Flujo de calor extraído (MW)	2,6
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	52
Potencia de carga (MW)	10,4
Nº módulos	18
Capacidad real batería (MWh)	54
CAPEX (M€)	2,6

© ITC-AICE 2025

Se observa de los resultados mostrados que, para cubrir el 100% del consumo de los cuatro secaderos, la inversión requerida se sitúa en un intervalo aproximado entorno a los 2,6 millones de euros.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural en los secaderos de 20.592 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 4.174 t CO_2/año.

Tabla 21. Ahorro de gas natural y emisiones de CO_2. TES 3 en el escenario 1.

TES 3. Escenario 1.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	62,4
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	62,40
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural (MWh/año)	20.592
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	1.925.026
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	4.174
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	20.592

Desde el punto de vista económico el parámetro fundamental para determinar la viabilidad de la inversión, además del CAPEX, es el coste de adquisición de la electricidad. Este coste incluye el precio de la energía eléctrica y otros componentes regulados en el caso de que la electricidad provenga de la red. Estos costes regulados, incluyen entre otros, los peajes de acceso (estimados en unos 11 €/MWh[22], a partir de los precios oficiales publicados por la CNMC) y los servicios de ajuste (estimados en 16 €/MWh[23], que corresponde con el precio medio del año 2025).

Una alternativa para evitar los costes regulados es obtener el suministro eléctrico a través de una instalación fotovoltaica en autoconsumo.

Teniendo en cuenta estos escenarios, se ha considerado para el análisis económico, un precio de la energía eléctrica situado en un intervalo entre los 35 y 62 €/MWh.

Con este coste energético, el periodo de retorno simple (TRS) del sistema de almacenamiento térmico se sitúa en el intervalo entre los 3 y los 12 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo.

Cabe destacar que en este caso se ha considerado realizar únicamente un ciclo de carga-descarga de la batería por día. En caso de realizar dos ciclos, lo cual es técnicamente viable, la capacidad necesaria de la batería se reduciría a un valor entorno a los 26 MWh, lo que reduciría significativamente el CAPEX de la instalación, y, por tanto, el periodo de retorno también sería menor, situándose en el intervalo entre 1,5 y 6 años.

7.4.2. Escenario 2. Planta de fabricación con cinco líneas productivas.

En este escenario consistente en una planta de mayor tamaño y que cuenta con atomizador, se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico el total del consumo térmico de los secaderos y la mitad del consumo del atomizador. Por tanto, la instalación debe cubrir las siguientes potencias térmicas:

- 50 % de la potencia térmica del atomizador – 5 MW.
- Potencia térmica diez secaderos – 6,5 MW.

[22] https://www.cnmc.es/prensa/peajes-2025
[23] https://www.ree.es/es/datos/mercados/componentes-precio-energia-cierre-desglose

© ITC-AICE 2025

El consumo total de energía en la planta, a suministrar por la batería térmica, asciende en este caso a 11,5 MW, y supondría un 70% de la potencia total de la planta considerada.

Tabla 22. Principales parámetros del sistema TES 3 para el escenario 2.

TES 3. Escenario 2	
Equipos destinatario del calor	Secaderos y atomizador
Nº equipos	5
Demanda térmica total (MW)	11,5
Flujo de calor extraído (MW)	11,5
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	230
Potencia de carga (MW)	57,5
Nº módulos	77
Capacidad real batería (MWh)	231
CAPEX (M€)	11,5

Tal como se muestra en la Tabla 22, para cubrir el 50% del consumo del atomizador y el 100% del consumo de los secaderos, la inversión necesaria para esta instalación se sitúa en torno a los 11,5 millones de euros, aunque puede variar dependiendo de las particularidades de la instalación.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 91.080 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 18.462 t CO_2/año.

Tabla 23. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 3 en el escenario 2.

TES 3. Escenario 2.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	276
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	276,00
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	91.080
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	8.514.537
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	18.462
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	91.080

Considerando los mismos precios medios de electricidad que en el escenario 1, el periodo de retorno simple (TRS) se sitúa en el intervalo entre los 3 y 12 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo. De la misma forma, si consideramos dos ciclos de carga y descarga diarios, el TRS se podría reducir a la mitad.

© ITC-AICE 2025

7.5. TES 4. Sistema de almacenamiento termoquímico en óxidos metálicos.

Este sistema de almacenamiento utiliza un sistema de carga integrado en la propia batería térmica, por lo que no es necesaria una caldera eléctrica externa. El fluido de trabajo es aire que se toma del ambiente y se introduce al proceso de manera directa, como aire caliente.

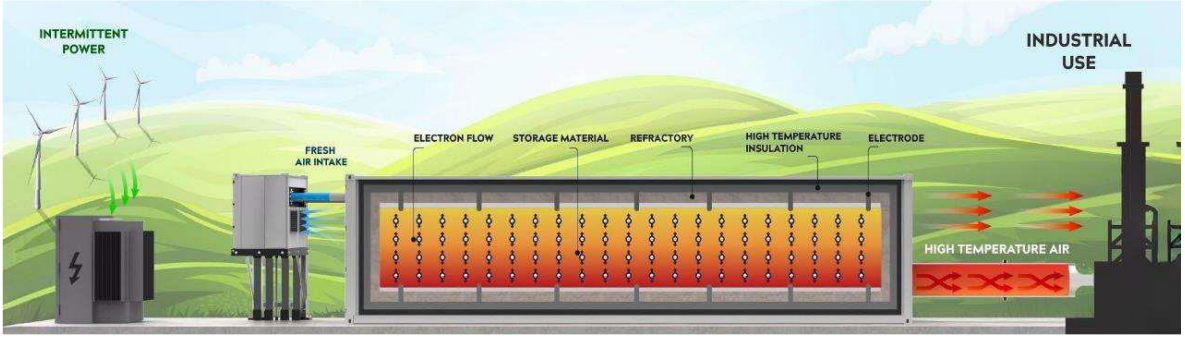

Figura 26. TES 4 Sistema de almacenamiento termoquímico en óxidos metálicos. Por cortesía de REDOXBLOX[24].

El sistema no solo almacena energía térmica en forma de calor, sino también en una reacción química en la que se absorbe o libera oxígeno. La reacción es la siguiente:

- Reacción de carga: Reactivo A + Calor → Reactivo B + O_2
- Reacción de descarga: Reactivo B + O_2 → Reactivo A + Calor

Esto permite una mayor densidad energética[25], mejorando la cantidad de calor que se puede almacenar por unidad de superficie.

Para el dimensionamiento del equipo, se ha considerado un único ciclo de carga – descarga, con un tiempo de carga de 4h. Durante estas 4 horas el equipo consume electricidad, pero también se descarga una parte del calor, es decir, se realiza una carga y descarga simultáneas, mientras que las 20h restantes se realiza una descarga exclusiva de la batería. Así el tiempo total de descarga es de 24 horas al día.

En caso de considerar 2 o más ciclos de carga, se reduciría significativamente el tamaño de la instalación, lo que supondría un menor CAPEX y por tanto un tiempo de retorno inferior.

7.5.1. Escenario 1. Planta de fabricación con dos líneas productivas

A) <u>Sin considerar los hornos</u>

En este escenario se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico el total de la demanda térmica de los cuatro secaderos, que es un total de 2,6 MW.

El fluido de aporte térmico al proceso resultante desde la batería es aire a 1200ºC, que mediante intercambiadores de calor aporta el calor al secadero.

Para este consumo, tomando aire a temperatura ambiente, se necesitaría mantener un flujo de calor extraído a la batería de 2,6 MW. Para mantener este flujo de calor durante las 24 horas de descarga, se necesita contar en la batería con una capacidad de almacenamiento de 62,4MWh. Dado que la capacidad de un módulo es de 2,5MWh, se necesitan 25 módulos, con una capacidad total de 62,5 MWh.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los principales parámetros calculados para esta aplicación:

[24] https://redoxblox.com/
[25] https://www.pv-magazine-latam.com/2024/01/17/almacenamiento-termoquimico-escalable-para-energias-renovables/

© ITC-AICE 2025

Tabla 24. Principales parámetros del sistema BAT4 para el Escenario 1 sin hornos.

TES 4. Escenario 1 sin hornos	
Equipos	Secaderos
Nº equipos	4
Demanda térmica total (MW)	2,6
Flujo de calor extraído (MW)	2,6
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	62,4
Potencia de carga (MW)	12,48
Nº módulos	25
Capacidad real batería (MWh)	62,5
CAPEX (M€)	3

Tal como se indica en la Tabla 24 la inversión necesaria para esta instalación se sitúa en torno a los 3 millones de euros, aunque puede variar dependiendo de las características de cada planta.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 20.592 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 4.174 t CO_2/año.

Tabla 25. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. Implementación de TES 4 en el escenario 1 sin hornos.

TES 4. Escenario 1 sin hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	62,4
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	62,40
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	20.592
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	1.925.026
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	4.174
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	20.592

Al igual que en el caso de análisis del TES 3, se ha considerado que el precio de compra de la electricidad, teniendo en cuenta peajes y otros costes adicionales, se sitúa entre los 35 y 62 €/MWh. Con este precio de la electricidad, el periodo de retorno simple (TRS) se sitúa en el intervalo entre los 4 y 15 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo.

B) <u>Considerando los hornos.</u>

Se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico los siguientes consumos:

- 50% de los dos hornos – 4 MW.
- 100% de los cuatro secaderos – 2,6 MW.

© ITC-AICE 2025

El consumo total es de 6,6 MW.

El fluido de aporte térmico al proceso resultante desde la batería es aire a 900ºC, que mediante intercambiadores de calor aporta el calor a los secaderos y hornos.

Para este consumo, tomando aire a temperatura ambiente, se necesitaría mantener un flujo de calor extraído a la batería de 6,6 MW. Para mantener este flujo de calor durante las 24 horas de descarga, se necesita contar en la batería con una capacidad de almacenamiento de 158,4 MWh. Dado que la capacidad de un módulo es de 2,5MWh, se necesitan 64 módulos, con una capacidad total de 160 MWh.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los principales parámetros calculados para esta aplicación:

Tabla 26. Principales parámetros del sistema BAT4 para el Escenario 1 con hornos.

Escenario 1 con hornos	
Demanda térmica (MW)	6,6
Flujo de calor extraído (MW)	6,6
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	158,4
Potencia de carga (MW)	31,68
Nº módulos	64
Capacidad real batería (MWh)	160
CAPEX (M€)	8

Tal como se indica en la Tabla 26 inversión necesaria para esta instalación se sitúa aproximadamente en 8 millones de euros. En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 52.272 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 10.596 t CO_2/año.

Tabla 27. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 4 en el escenario 1 con hornos.

TES 4. Escenario 1. Con hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	158,4
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	158,40
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	2.272
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	4.886.604
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	10.596
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	2.272

Considerando los mismos precios medios de electricidad que en el caso anterior, el periodo de retorno simple (TRS) se sitúa en el intervalo entre los 4 y 15 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo.

© ITC-AICE 2025

7.5.2. Escenario 2. Planta de fabricación con cinco líneas productivas.

A) <u>Sin considerar los hornos</u>

Se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico los siguientes consumos:

- 50% del atomizador – 5 MW.
- 100% de los diez secaderos – 6,5 MW.

El consumo total es de 11,5 MW.

El fluido de aporte térmico al proceso resultante desde la batería es aire a 900ºC, que mediante intercambiadores de calor aporta el calor a los secaderos y el atomizador.

Para este consumo, tomando aire a temperatura ambiente, se necesitaría mantener un flujo de calor extraído a la batería de 11,5 MW. Para mantener este flujo de calor durante las 24 horas de descarga, se necesita contar en la batería con una capacidad de almacenamiento de 276 MWh. Dado que la capacidad de un módulo es de 2,5MWh, se necesitan 111 módulos, con una capacidad total de 277,5 MWh.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los principales parámetros calculados para esta aplicación:

Tabla 28. Principales parámetros del sistema BAT4 para el escenario 2 sin hornos.

TES 4. Escenario 2 sin hornos	
Demanda térmica (MW)	11,5
Flujo de calor extraído (MW)	11,5
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	276
Potencia de carga (MW)	55,2
Nº módulos	111
Capacidad real batería (MWh)	277,5
CAPEX (M€)	14

Tal como se indica en la Tabla 28, el CAPEX de la instalación se sitúa en un valor aproximado de 14 millones de euros, según la distancia entre los equipos y otras características de la planta.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 91.080 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 18.462 t CO_2/año.

© ITC-AICE 2025

Tabla 29. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 4 en el escenario 2 sin hornos.

TES 4. Escenario 2 sin hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	276
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	276,00
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	91.080
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	8.514.537
Emisiones de CO2 ahorradas (t CO_2 / año)	18.462
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	91.080

Considerando los mismos precios medios de electricidad que en el escenario 1, el periodo de retorno simple (TRS) se sitúa en el intervalo entre los 4 y 15 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo.

B) <u>Considerando los hornos.</u>

Se ha considerado cubrir con el sistema de almacenamiento térmico los siguientes consumos:

- 50% del atomizador – 5 MW.
- 50% de los cinco hornos – 10 MW.
- 100% de los diez secaderos – 6,5 MW.

El consumo total es de 21,5 MW.

El fluido de aporte térmico al proceso resultante desde la batería es aire a 1200ºC, que mediante intercambiadores de calor aporta el calor a los hornos, los secaderos y el atomizador.

Para este consumo, tomando aire a temperatura ambiente, se necesitaría mantener un flujo de calor extraído a la batería de 21,5 MW. Para mantener este flujo de calor durante las 24 horas de descarga, se necesita contar en la batería con una capacidad de almacenamiento de 516 MWh. Dado que la capacidad de un módulo es de 2,5MWh, se necesitan 207 módulos, con una capacidad total de 517,5 MWh.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los principales parámetros calculados para esta aplicación:

© ITC-AICE 2025

Tabla 30. Resumen de los principales cálculos para el escenario 2 con hornos.

Escenario 2 con hornos	
Demanda térmica (MW)	21,5
Flujo de calor extraído (MW)	21,5
Tiempo de descarga exclusiva (h/día)	20
Tiempo de carga (h/día)	4
Capacidad necesaria (MWh)	516
Potencia de carga (MW)	103,2
Nº módulos	207
Capacidad real batería (MWh)	517,5
CAPEX (M€)	26

Tal como se indica en la Tabla 30, el CAPEX de la instalación se sitúa en un valor aproximado de 26 millones de euros, según la distancia entre los equipos y otras características de la planta.

En esta situación, se ha calculado un ahorro total de gas natural de 170.280 MWh/año, que supone una reducción de las emisiones de CO_2 de 34.516 t CO_2/año.

Tabla 31. Ahorro en el consumo de gas natural y emisiones de CO_2. TES 4 en el escenario 1 con hornos.

TES 4. Escenario 2 con hornos.	
Demanda térmica diaria (MWh/día)	516
Ahorro de gas natural diario (MWh/día)	516,00
Días de trabajo en un año	330
Ahorro de gas natural anual (MWh/año)	170.280
Volumen de gas natural ahorrado (Nm^3/año)	15.918.482
Emisiones de CO_2 ahorradas (t CO_2 / año)	34.516
Consumo anual de electricidad (MWh/año)	170.280

Considerando los mismos precios medios de electricidad que en el escenario 1, el periodo de retorno simple (TRS) se sitúa en el intervalo entre los 4 y 15 años, frente a los 25 años de vida útil del equipo.

© ITC-AICE 2025

7.6. Resumen de resultados

A continuación, se muestra una tabla comparativa de las principales características estimadas para cada uno de los sistemas de almacenamiento considerados en este estudio, así como un orden de magnitud de los principales datos económicos, a modo de resumen de los subapartados anteriores.

Cabe mencionar que en el caso del sistema de almacenamiento TES 1, no se dispone de datos económicos, por lo que no se ha incluido en este resumen.

Para la estimación de los valores mostrados en las tablas, se ha analizado un escenario base, sobre el que se podrían mejorar los periodos de retorno simple en algunos casos. Para definir el escenario base se han realizado una serie de hipótesis y simplificaciones, que se describen a continuación.

- Se ha considerado una planta productiva en la que no hay excedentes disponibles de energía eléctrica generada por una instalación fotovoltaica. Tampoco se ha tenido en cuenta la posibilidad de instalar paneles fotovoltaicos en la cubierta de la planta productiva.
- No se ha tenido en cuenta la posibilidad de realizar parte de la carga de la batería mediante recuperaciones de calor desde los hornos de cocción, dado que factores como el calor que se pueda recuperar, o la existencia de recuperaciones de calor de los hornos a los secaderos, son muy variables entre las distintas empresas del sector.
- En el caso de los atomizadores, se ha comparado el empleo de un sistema de almacenamiento térmico frente al uso de quemadores de gas natural, sin tener en cuenta aquellos casos en los que se dispone de una turbina de cogeneración, que aporte gases calientes al atomizador.

Escenario 1. Planta de fabricación con dos líneas productivas

A) Sin considerar los hornos

Tabla 32. Resumen de los principales resultados estimados. Escenario 1 sin hornos.

Escenario 1 sin hornos	TES 3	TES 4
Consumo térmico que cubre la batería	100%	100%
Ciclos / día	1	1
Capacidad batería (MWh)	54	62,5
CAPEX (M €)	2,6	3,0
Vida Útil (años)	25	25
TRS (años)	3 - 12	4 - 15

© ITC-AICE 2025

B) Considerando los hornos.

Tabla 33. Resumen de los principales resultados estimados. Escenario 1 con hornos.

Escenario 1 con hornos	TES 2	TES 4
Consumo térmico que cubre la batería	57%	57%
Ciclos / día	1 - 2	1
Capacidad batería (MWh)	70	160
CAPEX (M €)	16	8
Vida Útil (años)	25	25
TRS (años)	10	4 - 15

Escenario 2. Planta de fabricación con cinco líneas productivas.

A) Sin considerar los hornos

Tabla 34. Resumen de los principales resultados estimados. Escenario 2 sin hornos.

Escenario 2 sin hornos	TES 2	TES 3	TES 4
Consumo térmico que cubre la batería	61%	70%	70%
Ciclos / día	1-2	1	1
Capacidad batería (MWh)	100	231	277,5
CAPEX (M €)	29	11,5	14
Vida Útil (años)	25	25	25
TRS (años)	11	3 - 12	4 - 15

B) Considerando los hornos.

Tabla 35. Resumen de los principales resultados estimados. Escenario 2 con hornos.

Escenario 2 con hornos	TES 2	TES 4
Consumo térmico que cubre la batería	33,5%	58%
Ciclos / día	1 - 2	1
Capacidad batería (MWh)	100	517,5
CAPEX (M €)	34	26
Vida Útil (años)	25	25
TRS (años)	11	4 - 15

© ITC-AICE 2025

8. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas del presente trabajo son las siguientes:

- La instalación de baterías térmicas en las plantas productivas de baldosas cerámicas es **técnicamente viable**, con la posibilidad de aportar energía térmica a los atomizadores, a los secaderos, y a los hornos, dependiendo de la tecnología seleccionada y del rango de temperatura del fluido que se obtiene del sistema de almacenamiento térmico.

- Las baterías térmicas se consideran una tecnología de **electrificación indirecta** de los procesos productivos, ya que permiten generar calor a partir de electricidad potencialmente de origen renovable (salvo en los casos que provenga de red y por tanto dependerá del mix de fuentes de generación eléctrica). Por ello, se posicionan como una de las tecnologías con capacidad para contribuir a la **descarbonización** del sector cerámico

- La principal función de un sistema de almacenamiento de energía es **desacoplar en el tiempo** el uso de la energía y su adquisición. En el caso de los sistemas de almacenamiento térmico, estos **aportan flexibilidad** al permitir que su consumo eléctrico se realice en los periodos en los que el coste de la energía es más reducido.

- La **rentabilidad** de estas tecnologías depende esencialmente del coste de la electricidad empleada para cargar la batería y del coste del gas natural – incluidas las emisiones CO_2 asociadas- que se evita gracias al almacenamiento térmico. En este contexto, cualquier estrategia o modalidad de adquisición de electricidad que permita obtener un mejor precio, será fundamental para garantizar la viabilidad de la instalación de almacenamiento.

- El empleo de sistemas de almacenamiento térmico como aporte de calor a los **secaderos de baldosas** se perfila como la aplicación más sencilla y viable de las tres etapas de proceso analizadas, tanto por las temperaturas de trabajo como por las potencias requeridas. El análisis realizado con varias tecnologías de almacenamiento, muestra, para una empresa con cuatro secaderos, que la inversión sería de alrededor de 3 M€, y el periodo de retorno de la inversión se situaría entre 3 y 15 años, según el sistema de almacenamiento utilizado y el coste de la energía eléctrica.

- El aporte de calor a los **atomizadores** procedente de una batería térmica no presenta dificultades técnicas para su implementación, y deberá coordinarse con la posible aportación de gases de cogeneración. En el análisis económico realizado en este estudio, no se ha tenido en cuenta como puede influir en la rentabilidad de la cogeneración la adaptación a las nuevas necesidades de calor y electricidad.

- El aporte de calor a alta temperatura a los **hornos** procedente de una batería térmica presenta una serie de dificultades técnicas, que se centrarían en el circuito de distribución del calor a lo largo del horno, el control de la temperatura por zonas en el horno, la homogeneidad de temperatura en la cámara del horno, entre otras.

- Las tecnologías de almacenamiento térmico son, mayormente, **tecnologías novedosas** que están iniciando su despliegue en instalaciones industriales. Actualmente ya hay algunas aplicaciones a nivel industrial en diversos sectores de actividad, como el sector alimentario, la cerámica estructural o el sector energético.

- La **inversión** requerida para la implantación de baterías térmicas para cubrir de forma parcial o completa la demanda de los secaderos, hornos y atomizadores, para los escenarios analizados puede llegar a ser elevada, situándose entre 2,7 y 34 M€, según el escenario considerado. Los tiempos de retorno pueden estar entre los 3 y 15 años, dependiendo de la tecnología de almacenamiento y su modo de funcionamiento, las necesidades y situación particular de cada empresa, y especialmente del coste del suministro de la energía eléctrica.

- Existe la posibilidad de realizar parte del aporte de calor que la batería térmica necesita en el ciclo de carga a partir de gases calientes, por ejemplo, mediante **recuperaciones de**

© ITC-AICE 2025

calor residual desde los hornos. Con esta integración, se reduciría el consumo de electricidad necesario para cargar la batería, consiguiendo reducir los costes de operación del sistema. En este caso, es importante elegir un sistema de almacenamiento que sea compatible tanto con la carga al partir de electricidad, como de gases calientes.

- Una posibilidad para la obtención de electricidad a un precio competitivo en las empresas es la instalación de una **planta fotovoltaica**, o el aprovechamiento de los excedentes de una instalación existente, que podría ser ampliada.

- Dado que las tecnologías de almacenamiento térmico requieren consumo adicional de electricidad, su implementación implicará, cuando la energía provenga de la red, un aumento de la **capacidad de acceso a potencia** por parte de la planta productiva., Considerando el actual nivel de saturación de las redes eléctricas en la zona del clúster cerámico, será necesario una adaptación de las infraestructuras eléctricas de la zona para poder cubrir este aumento en la demanda.

© ITC-AICE 2025

9. Agradecimientos

A las empresas colaboradoras, que han cedido imágenes y han facilitado información para la elaboración de este informe:

- Brenmiller Energy, https://bren-energy.com/
- John Cockerill, https://johncockerill.com/en/
- Yoiba Energy, https://www.yoibaenergy.es/
- Greendur, https://greendur.com/
- Redoxblox, https://redoxblox.com/

© ITC-AICE 2025

Anexo I. Estrategias de obtención de energía a bajo coste.

Existen diversas estrategias para reducir el coste de la energía eléctrica con que se carga la batería térmica. Entre ellas, las más destacables son el aprovechamiento de excedentes de producción eléctrica de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, y el consumo de electricidad de red en las horas del día en que esta tiene un menor precio. Además, tal como se muestra en la Figura 27, las baterías térmicas también pueden acumular calor residual de los procesos industriales, siempre que se cumplan los requisitos técnicos necesarios.

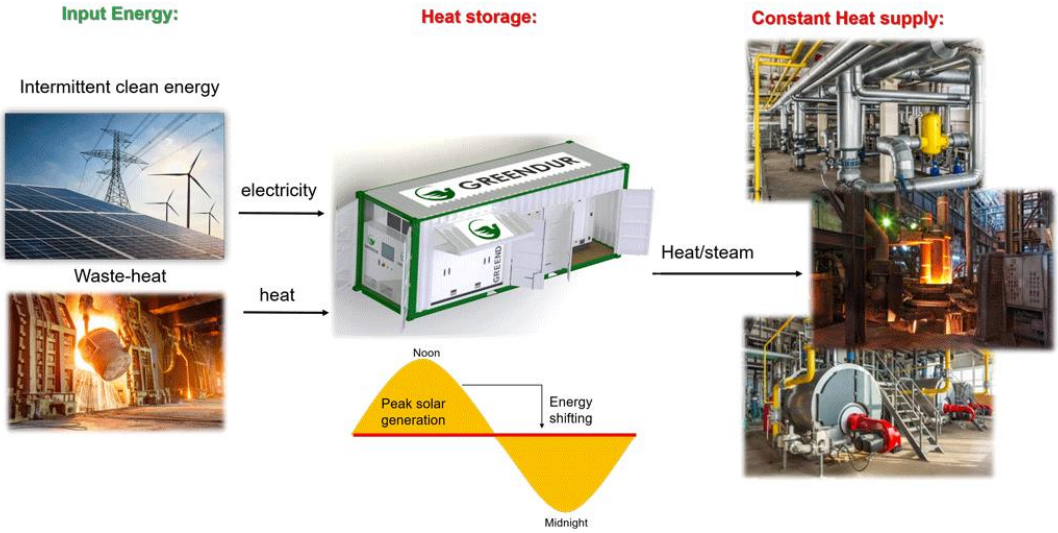

Figura 28. Estrategias para reducir el coste de la energía con baterías térmicas. Imagen por cortesía de Greendur.

Para la integración de estas tecnologías, se suele utilizar un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), que consiste en un software que controla la carga y descarga del sistema de almacenamiento térmico en función de predicciones del mercado eléctrico basadas en datos históricos, predicciones climáticas, etc.

El SGE también puede tener en cuenta la producción fotovoltaica en caso de existir, así como posibles recuperaciones de calor, consiguiendo los mejores precios de energía eléctrica según las necesidades y características únicas de cada planta productiva.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra el panel de control de un S istema de Gestión de la Energía, en concreto la ventana de carga y descarga. En la gráfica situada a la izquierda, se puede ver la energía introducida en la batería en cada hora, es decir, su ciclo de carga, mientras que, en la gráfica naranja de la derecha, se indica el consumo por hora, es decir, la descarga de la batería.

© ITC-AICE 2025

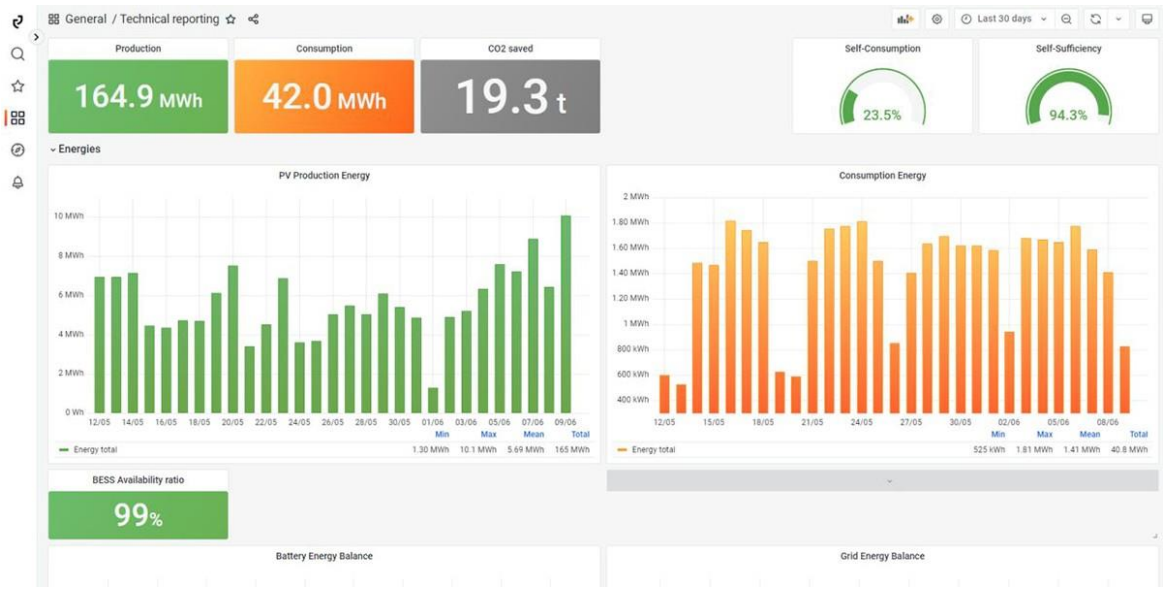

Figura 29. Panel de carga y descarga de un Sistema de Gestión de la Energía. Por cortesía de John Cockerill.

A continuación, se describen las principales estrategias para conseguir una reducción en el coste de la electricidad consumida:

A) Excedentes de una instalación fotovoltaica.

Una de las oportunidades más atractivas que ofrece un sistema de almacenamiento térmico es la posibilidad de utilizar los excedentes de una instalación fotovoltaica en la carga del sistema.

Esto supone aprovechar estos excedentes para cargar la batería térmica, en lugar de verterlos a la red eléctrica, lo que reduce el consumo de energía eléctrica de la red para la carga de la batería térmica, y, por tanto, el coste del calor suministrado por el sistema de almacenamiento térmico.

Tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los excedentes s on acumulados en la batería, y se utilizan para dar energía a los equipos en la descarga de la batería, cuando los secaderos necesiten esta energía, desacoplando la demanda de energía de su producción y creando una especie de “buffer” de energía térmica.

© ITC-AICE 2025

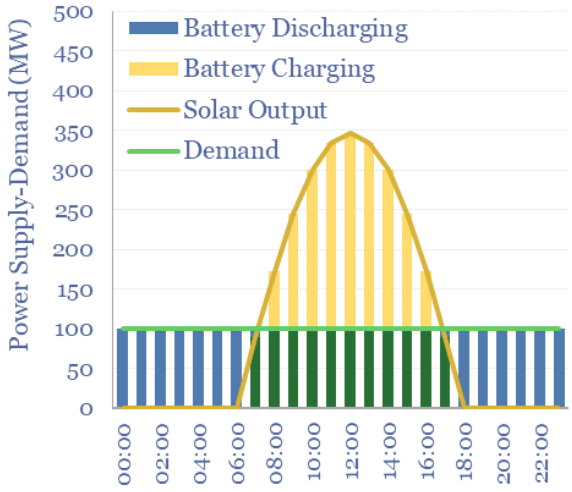

Figura 30. Ejemplo de aprovechamiento de excedentes de fotovoltaica mediante almacenamiento de energía[26].

En la gráfica, las barras de color amarillo representan la energía cargada en la batería, mientras que las barras azules representan la energía que se descarga. Como se puede ver, en este caso la carga se concentra en las horas de mayor producción de energía fotovoltaica, con el pico de producción a las 12:00, mientras que el consumo es constante durante todo el día.

El porcentaje de electricidad que provenga de red o de la instalación fotovoltaica dependerá del dimensionamiento de la batería térmica, y de los excedentes de electricidad generada por la instalación fotovoltaica.

En algunos casos, puede ser conveniente ampliar la instalación fotovoltaica de la empresa para que cubra un mayor porcentaje del consumo de electricidad de la batería térmica con precios menores a su compra de la red eléctrica, siempre que se disponga de espacio para esta ampliación.

B) Consumo de electricidad en las horas más baratas.

El precio de la electricidad en el mercado mayorista español presenta una marcada variación tanto a lo largo del día como entre estaciones. Estas fluctuaciones responden principalmente a los patrones de demanda energética y a factores climáticos que influyen en el consumo de los hogares y de las actividades económicas.

Durante los meses de verano, los precios tienden a mantenerse relativamente estables durante la madrugada y las primeras horas del día. No obstante, se observa un incremento progresivo a partir del mediodía, alcanzando los valores máximos entre las 21:00 y las 0:00 horas, coincidiendo con el aumento del uso de sistemas de refrigeración y el retorno de la población a los hogares. En contrapartida, las horas más económicas se sitúan entre las 11:00 y las 18:00, cuando hay una mayor producción de energía renovable (solar).

[26] https://thundersaidenergy.com/downloads/renewable-grids-grid-scale-battery-sizing/

© ITC-AICE 2025

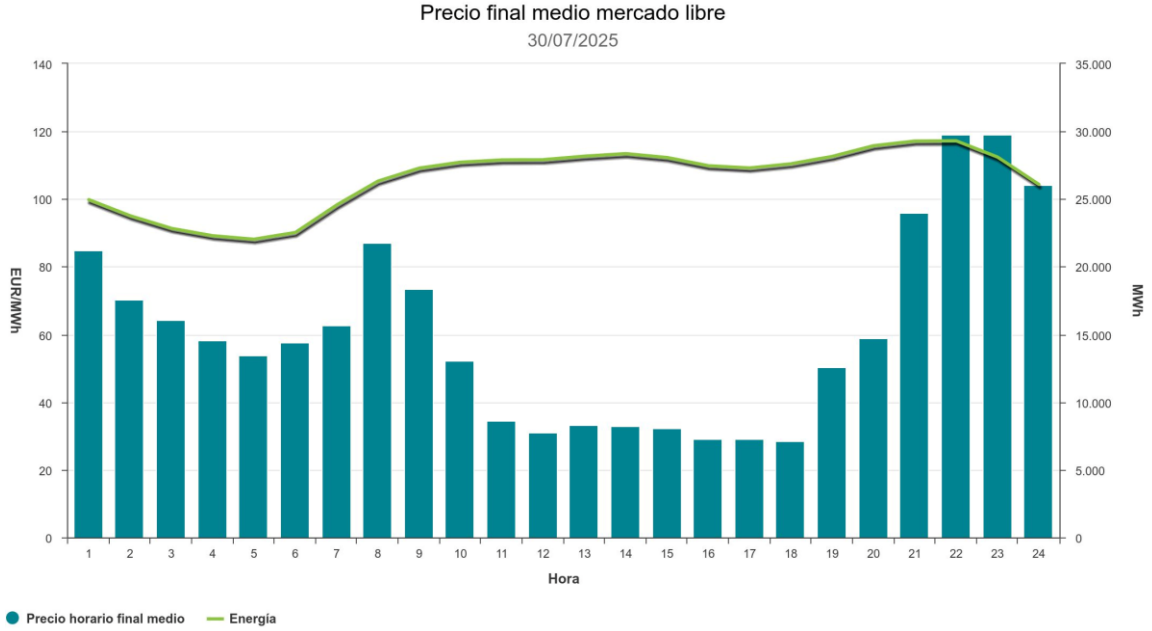

Figura 31. Variación del precio de la electricidad a lo largo de un día. Ejemplo de Verano. Fuente: OMIE[27].

En los meses de invierno, el comportamiento horario del precio es diferente. Se registran dos picos de demanda y precio: uno por la mañana (08:00–11:00) y otro por la tarde-noche (18:00–22:00), asociados al uso intensivo de calefacción e iluminación. En cambio, las horas centrales del día (13:00–16:00) suelen presentar los precios más bajos, favorecidas por una menor demanda y, en algunos casos, por una mayor producción de energía renovable (solar), aunque son mayores que en verano, cuando hay más producción de renovables.

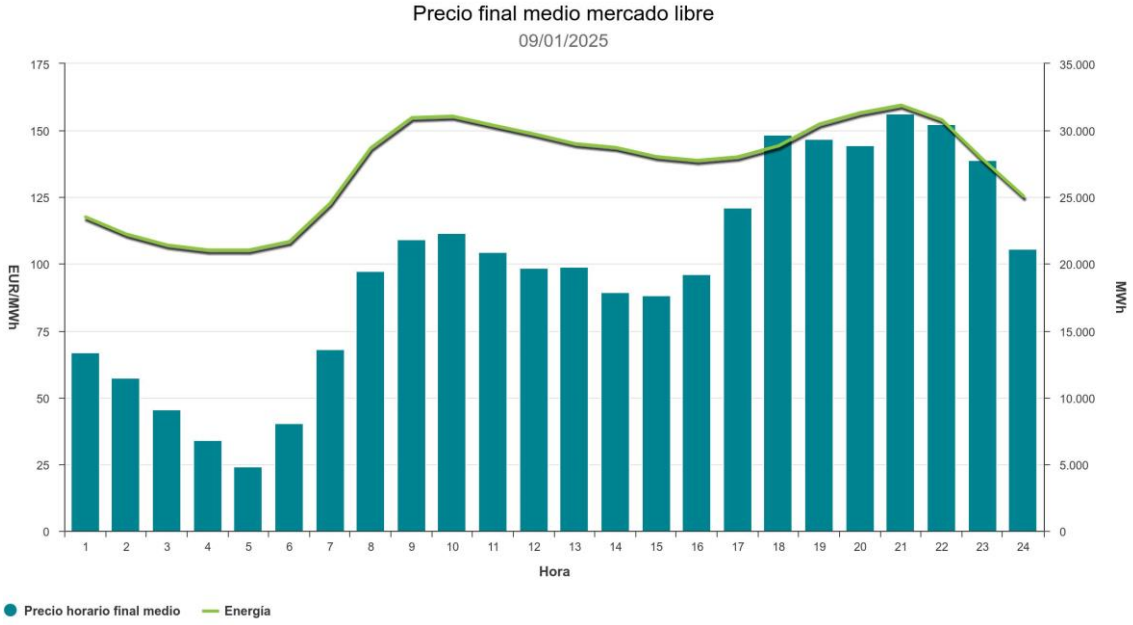

Figura 32. Variación del precio de la electricidad a lo largo de un día. Ejemplo de Invierno. Fuente: OMIE[i]Error! M

[27] https://www.omie.es/es/market-results/daily/average-final-prices/free-market?scope=daily&date=2025-01-09

© ITC-AICE 2025

arcador no definido.

Además, el conocimiento de los periodos de menor demanda de potencia en la red eléctrica es una herramienta estratégica para la optimización del consumo energético en el sector industrial. Durante las horas comprendidas entre la medianoche y las 07:00 horas, la demanda global del sistema es reducida, por lo que se pueden negociar tarifas más beneficiosas para el consumidor. En estos periodos también es más fácil el acceso a potencia, habiendo menos carga en la red de distribución, lo que facilita los permisos de conexión.

C) PPA con gestión de carga o respuesta a demanda.

Actualmente, los Power Purchase Agreements (PPA) han adquirido un papel fundamental como mecanismo de estabilidad y previsibilidad en los costes energéticos para el sector industrial, especialmente para los consumidores intensivos de energía eléctrica.

Tradicionalmente, estos contratos bilaterales entre un productor y un consumidor establecen un precio fijo o indexado para la compraventa de electricidad a largo plazo. Sin embargo, en los últimos años ha surgido una modalidad más avanzada que introduce flexibilidad horaria en el consumo como variable contractual[28].

Este modelo, conocido como PPA con gestión de carga o con respuesta a la demanda, permite que el consumidor industrial ajuste su perfil de consumo eléctrico en función de la disponibilidad horaria de generación del productor, generalmente de origen renovable. De este modo, el consumidor se compromete a concentrar su demanda en aquellas horas en las que la producción es más abundante o el consumo más reducido, como, por ejemplo, durante los periodos de máxima generación solar o eólica, a cambio de acceder a precios más competitivos de la energía suministrada.

Los beneficios de este tipo de PPA son significativos para ambas partes. Por un lado, el productor optimiza la valorización de su energía renovable, reduciendo su exposición a la volatilidad del mercado mayorista y evitando posibles vertidos de energía. Por otro lado, el consumidor industrial puede reducir su coste medio de electricidad, al adaptar sus procesos a las condiciones de oferta más favorables.

Estos modelos resultan especialmente adecuados para sectores electro intensivos con capacidad de almacenamiento energético, por su alto consumo y capacidad de desplazar la demanda a las horas requeridas[29].

D) Recuperación de calor de hornos a secaderos.

Tal como se ha explicado anteriormente, muchos de los sistemas de almacenamiento térmico pueden utilizar gases calientes, de manera directa o indirecta (intercambiador de calor) para realizar parte de la carga térmica del sistema, de modo que se reduce el consumo de energía eléctrica necesario para cargar la batería térmica.

Esto se podría implementar de diversas maneras. Una posibilidad sería aprovechar calor residual de los hornos para cargar la batería, en lugar de utilizarlo directamente en los secaderos.

Otra posibilidad sería utilizar el calor residual directamente al secadero durante las horas de funcionamiento de ambos equipos, y derivar el calor residual del horno para cargar la batería cuando el secadero no esté funcionando, o bien optar por una configuración mixta, en la que una parte del calor se recupera directamente en el secadero y el resto a la batería.

Se aprecia, pues, que los sistemas de almacenamiento térmico son bastante versátiles, y que se podrían adaptar a las necesidades específicas de cada planta productiva.

---

[28] https://www.funcas.es/articulos/ppa-en-espana-pasado-presente-y-posibles-futuros/
[29]https://www.pv-magazine.es/2025/04/24/europa-estudia-ppas-24-7-y-respuesta-a-la-demanda-para-consumidores-electrointensivos/

© ITC-AICE 2025

El presente informe nº C253150 expedido a petición de la firma ASCER - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS, consta de una portada y 52 páginas.

Castellón, 03 de diciembre de 2025

DOCUMENTO CERTIFICADO DIGITALMENTE

Para comprobar la validez e integridad de este informe, puede pulsar aquí.
Si la validez aparece como DESCONOCIDA, por favor, siga los pasos del documento 'Instrucciones firma electrónica'.
Toda reproducción en papel se considera copia.

Dra. Ana Mezquita Martí
Investigadora del Área de Sostenibilidad
Eficiencia energética y descarbonización industrial

Cláusulas de responsabilidad

Los resultados, conclusiones y/o recomendaciones contenidos en este informe sólo se refieren al material sometido a ensayo y/o a la información suministrada por el peticionario.

No se admite ninguna responsabilidad referente a la exactitud y representatividad del muestreo a menos que éste haya sido efectuado bajo nuestra propia supervisión. Salvo mención expresa, las muestras y sus referencias han sido elegidas libremente por el peticionario.

Reservados todos los derechos. El contenido de este informe goza de la protección que le otorga la ley. No podrá ser comunicado, transformado, reproducido o distribuido públicamente en todo o en parte, sin la autorización expresa del Instituto de Tecnología Cerámica - AICE. La distribución de este informe solamente está autorizada para el envío puntual y no masivo a clientes y/o proveedores del peticionario, con el único objetivo de informar y siempre citando la autoría del Instituto de Tecnología Cerámica –AICE.

El Instituto de Tecnología Cerámica - AICE no se hace responsable del uso que el peticionario u otra persona o entidad haga de los datos o indicaciones contenidos en el presente informe, en perjuicio o en beneficio de las marcas comerciales que el peticionario haya podido citar como identificación de las muestras sometidas a estudio.

Este informe tiene carácter exclusivamente comercial y no podrá ser utilizado en cualquier procedimiento judicial o administrativo, ni como dictamen pericial ni como prueba documental, salvo autorización expresa del Instituto de Tecnología Cerámica - AICE. La autorización por parte de ITC-AICE estará condicionada, cuando así se requiera, al abono por parte del cliente, incluso con carácter previo, de los fondos necesarios para cubrir los gastos asociados a la defensa de este informe. ITC-AICE se reserva el derecho de tomar las oportunas acciones legales en caso de incumplimiento de esta cláusula.

El Instituto de Tecnología Cerámica - AICE podrá incluir en sus informes análisis, comentarios o cualquier otra valoración que juzgue necesaria, aun cuando ésta no hubiese sido expresamente solicitada.

El Instituto de Tecnología Cerámica - AICE se compromete a respetar estrictamente el carácter confidencial de los datos y resultados obtenidos en este informe. En caso de ser requerido por ley o autorizado por disposiciones contractuales para revelar información confidencial, el Instituto de Tecnología Cerámica – AICE notificará al cliente la información proporcionada, salvo que esté prohibido por ley.

© ITC-AICE 2025