

**TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA CONTRATACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA:
USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJO COSTO VARIABLE,
EN EMPRESAS E INSTITUCIONES URUGUAYAS**

1. INFORMACIÓN GENERAL

Proyecto ReValora	GEF No. 10453. Promoviendo la transición hacia una economía circular en Uruguay a través de la innovación en tecnologías limpias
Título de la asistencia técnica	Uso de energía eléctrica de bajo costo variable, en empresas e instituciones uruguayas
Duración	Hasta 120 días

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Con el fin de alinear las estrategias sectoriales y de desarrollo nacional de Uruguay con las realidades económicas de un mundo limitado por el clima, el proyecto ReValora fue diseñado para identificar e impulsar la innovación y el desarrollo en las tecnologías limpias más prometedoras, que juegan un papel importante en el camino de transición hacia una economía circular, en los sectores prioritarios: sector alimentario y sector energético.

En lo referente al sector energético, existe una oportunidad de utilizar la disponibilidad de energía eléctrica de bajo costo variable en empresas e instituciones uruguayas, permitiendo incrementar la sostenibilidad ambiental y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), a partir de la sustitución parcial del uso de combustibles fósiles por el uso de energía eléctrica. Esto podría fortalecer la estrategia de desarrollo sostenible del país con procesos innovadores liderados por instituciones locales.

En este sentido, se busca aportar a:

- a) Desfossilizar sectores económicos clave. Si bien la matriz de generación eléctrica de Uruguay es en promedio (2014-2024) un 94% renovable, la matriz de abastecimiento primaria todavía está basada en aproximadamente un 40% en combustibles fósiles, siendo los sectores del transporte y la industria los que representan en suma el mayor porcentaje de dependencia. Dado que el sector transporte ya cuenta con múltiples líneas de acción establecidas para su desfossilización, esta iniciativa se focaliza en el sector industrial, comercial y de servicios.
- b) Mejorar la eficiencia del sistema de energía eléctrica, al aprovechar la disponibilidad de energía eléctrica de bajo costo para sustituir fósiles, reducir vertimientos y priorizar su uso a nivel

local..

c) Desarrollar conocimientos, intercambios y transferencias de tecnología, con perspectiva de género.

Para ello, se propone el apoyo a la realización de estudios de viabilidad de ideas de proyectos que puedan dar como resultado la puesta en marcha de proyectos demostrativos plenamente funcionales.

El apoyo se llevará a cabo en dos etapas, una primera convocatoria para desarrollar los estudios de viabilidad y una segunda para apoyar la ejecución de proyectos demostrativos. Ambas etapas serán independientes, a la segunda etapa podrán presentarse tanto los proponentes de la primera etapa como nuevos proponentes. El estudio que deberá presentarse para la segunda etapa deberá tener igual o superior profundidad en cuanto a la viabilidad técnica-económica que se solicita en la primera etapa.

Para la primera convocatoria se cuenta con fondos no reembolsables por un monto global de 40.000 USD, los que financiarán asistencia técnica.

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA ASISTENCIA TÉCNICA

El objetivo general de esta asistencia técnica es brindar asesoramiento a las empresas e instituciones uruguayas en generar proyectos que permitan el aprovechamiento de la disponibilidad de energía eléctrica de bajo costo variable, proveniente de recursos renovables, para sustituir parcialmente combustibles fósiles hoy utilizados para satisfacer sus demandas, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero.

Los objetivos específicos de la asistencia técnica son:

a) Estudiar la conversión parcial de usos basados en combustibles fósiles en usos a partir de energía eléctrica de bajo costo variable, que tendrá la disponibilidad que se menciona en el ANEXO I - PRODUCTO COMERCIAL UTE: ECO CALOR, en el marco del Proyecto ReValora.

b) Realizar análisis técnico y económico en diferentes empresas/instituciones, incorporando este nuevo producto comercial de UTE respecto a las condiciones de utilización de la disponibilidad de energía eléctrica de bajo costo variable.

c) Desarrollar capacidades en las empresas, instituciones privadas en relación a esta actividad, identificando demandas que puedan utilizar energía eléctrica de bajo costo variable, en diferentes áreas de actividad.

d) Acompañar a las empresas objetivo en la visualización de proyectos de triple impacto para su posterior presentación a futuras convocatorias del Proyecto ReValora, para la cofinanciación de la implementación de proyectos demostrativos.

4. ALCANCE DE LA ASISTENCIA TÉCNICA

Se realizará un llamado a ideas de proyectos para empresas e instituciones uruguayas que cuenten con demandas que puedan ser abastecidas a partir de energía eléctrica interrumpible de bajo costo variable, de acuerdo al producto comercial establecido en el Anexo I.

Al momento de la elaboración de las propuestas se deberá tener particularmente en cuenta que la energía eléctrica de bajo costo variable se otorgará para su utilización de acuerdo a su disponibilidad, así como a la capacidad de las redes.

El Producto Comercial ECO CALOR se presenta en dos configuraciones opcionales de horas puestas a disposición durante el plazo máximo del contrato, debiéndose optar por una de ellas al momento de suscribir el mismo, conforme se describe a continuación:

a) Puesta a disposición de horas de energía, en cualquier hora del día, realizando un pre-aviso de su disponibilidad durante el día anterior.

En este marco, UTE pone a disposición 12.000 horas de energía asociadas a bajo costo marginal de generación para demandas estrictamente adicionales, en las cuales se aplicará un Descuento Comercial, previsto en el Producto Comercial, durante el plazo de vigencia establecido en el contrato (compromiso global). Por otra parte, mientras no se alcance el total de horas anteriormente mencionado, UTE se compromete a poner a disposición al menos 1.400 horas en cada año del plazo del contrato, (compromiso anual), las que se descontarán del compromiso global del contrato, es decir, del total de 12.000 horas.

b) Puesta a disposición de energía en grupos de al menos 4 horas consecutivas, en cualquier hora del día, realizando un pre-aviso de su disponibilidad durante el día anterior.

UTE pone a disposición el abastecimiento de 10.000 horas asociadas a energía de bajo costo marginal de generación para demandas estrictamente adicionales, en las cuales se aplicará un Descuento Comercial, previsto en el Producto Comercial, durante el plazo de vigencia establecido en el contrato (compromiso global). A su vez, mientras no se alcance el total de horas mencionado, UTE se compromete a poner a disposición al menos 1.100 horas en cada año (compromiso anual), que se restarán del total de 10.000 horas.

El Descuento Comercial será tal que, una vez aplicado, el valor resultante de la energía sub-medida en las horas puestas a disposición en el tramo horario correspondiente, será de 30 US\$/MWh (valor del año 2025, ajustado de forma anual por PPI).

No se considerarán propuestas con rentabilidad positiva con las tarifas del Pliego Tarifario de UTE, u otros Productos Comerciales vigentes, así como las propuestas que resulten viables con el uso de energía eléctrica, frente a otras fuentes, por exigencias medioambientales”.

Los costos de conexión a la red y demás costos de la instalación eléctrica, incluyendo el puesto de medida para la Submedición (exceptuando medidor y transformadores de medida) serán cubiertos

por el usuario.

La presentación de la Idea deberá realizarse por la institución interesada, por su cuenta o en conjunto con una ESCO.

Las ideas de proyectos serán evaluadas por un Comité de Evaluación y Seguimiento, constituido a ese efecto.

Cada propuesta de asistencia técnica deberá presentarse de acuerdo al formulario de postulación establecido por la ANII para tal fin.

En el ANEXO II se presentan algunos ejemplos de aplicación bajo el concepto *power to heat*. Estos ejemplos de ideas, son de carácter meramente ilustrativo, por lo cual se podrán aceptar o evaluar otras que pudieran cumplir con el objetivo de la convocatoria.

5. COORDINACIÓN DE LOS TRABAJOS

Las reuniones de intercambio con el Comité de Evaluación y Seguimiento, así como las presentaciones de resultados podrán ser realizadas en las instalaciones de las instituciones que forman parte del Comité de Evaluación y Seguimiento.

El seguimiento de las actividades previstas, así como la aprobación de los productos de la asistencia técnica estarán bajo la responsabilidad del Comité de Evaluación y Seguimiento.

6. ANEXO I - PRODUCTO COMERCIAL UTE: ECO CALOR

El Producto ECO CALOR se diseñó con las siguientes características:

- El llamado a interesados para participar podrá alcanzar un total de hasta 10 MW.
- Es condición necesaria para poder participar en este Producto Comercial que en la ubicación del servicio eléctrico en el cual funcionará el equipamiento asociado, la demanda de potencia de dicho equipamiento pueda ser abastecida sin realizar inversiones específicas en la red cercana.
- Se prevé la suscripción de un contrato específico, con el cliente titular del servicio eléctrico donde funcionará el equipamiento asociado al Producto Comercial, por un plazo máximo de 5 años, para proyectos que comiencen antes del 1 de enero de 2028.
- El Producto Comercial se presenta en dos configuraciones opcionales, de horas puestas a disposición durante el plazo máximo del mencionado contrato, debiéndose optar por una de ellas al momento de suscribir el mismo, conforme se describe a continuación:
 - a) Puesta a disposición de horas de energía, en cualquier hora del día, realizando un pre-aviso de su disponibilidad durante el día anterior.

En este marco, UTE pone a disposición 12.000 horas de energía asociadas a bajo costo marginal de generación para demandas estrictamente adicionales, en las cuales se aplicará un Descuento Comercial, previsto en el Producto Comercial, durante el plazo de vigencia establecido en el contrato (compromiso global). Por otra parte, mientras no se alcance el total de horas anteriormente mencionado, UTE se compromete a poner a disposición al menos 1.400 horas en cada año del plazo del contrato, (compromiso anual), las que se descontarán del compromiso global del contrato, es decir, del total de 12.000 horas.

b) Puesta a disposición de energía en grupos de al menos 4 horas consecutivas, en cualquier hora del día, realizando un pre-aviso de su disponibilidad durante el día anterior.

UTE pone a disposición el abastecimiento de 10.000 horas asociadas a energía de bajo costo marginal de generación para demandas estrictamente adicionales, en las cuales se aplicará un Descuento Comercial, previsto en el Producto Comercial, durante el plazo de vigencia establecido en el contrato (compromiso global). A su vez, mientras no se alcance el total de horas mencionado, UTE se compromete a poner a disposición al menos 1.100 horas en cada año (compromiso anual), que se restarán del total de 10.000 horas.

- La puesta a disposición a que se compromete UTE se considera cumplida en tanto UTE ponga a disposición esa energía en esa cantidad de horas, más allá de que el Cliente efectivamente consuma o no la energía asociada a este Producto. Si el cliente no las consume no las abonará, pero el compromiso de UTE se da por cumplido.
- Las horas ofrecidas en el Producto estarán condicionadas tanto por la disponibilidad de energía de bajo costo marginal de generación, así como también por la disponibilidad de potencia en la red involucrada en el suministro asociado al contrato.
- Para la medición de la energía sobre la que se aplica el descuento comercial, se instalará una sub-medición del consumo y demanda de potencia del equipamiento al que se destinará la energía asociada a este producto comercial, el cual se encuentra en la instalación interior del servicio eléctrico del cliente.
- **Descuento comercial:**
 - La energía registrada en el medidor (sub-medición) del equipo asociado al Producto Comercial, durante las horas puestas a disposición en este contrato, tendrá un Descuento Comercial aplicado sobre el cargo por energía en el tramo horario correspondiente de la tarifa contratada en el servicio eléctrico.
 - El Descuento Comercial será tal que, una vez aplicado, el valor resultante de la energía sub-medida en las horas puestas a disposición en el tramo horario correspondiente, será de 30

US\$/MWh (valor del año 2025, ajustado de forma anual por PPI).

- Siempre que la demanda de potencia del equipamiento eléctrico asociado al Producto se realice durante las horas puestas a disposición, el monto a pagar por el concepto Cargo por Potencia en el servicio eléctrico del cliente no se verá afectado por la potencia demandada por el mencionado equipamiento eléctrico del Producto. En caso de que el cliente utilice el equipamiento en horas sin promoción deberá pagar los costos que surjan por potencia excedentaria al precio de la tarifa contratada.

- Las inversiones que pudieran ser necesarias en la conexión a la red del servicio eléctrico donde se instalará el equipamiento, así como para la conexión de este en la instalación interior, a través de la sub-medición, serán a cargo y costo del cliente.

- La energía suministrada para el equipamiento asociado a este Producto Comercial será la leída en el medidor instalado para la sub-medición asociada al Producto Comercial, es decir, las pérdidas técnicas del tramo eléctrico entre la instalación de enlace y el equipamiento asociado al producto no forman parte de la bonificación del presente contrato y, por lo tanto, se facturarán al precio correspondiente de la tarifa contratada por el cliente en el suministro principal.

- Al finalizar cada año, en caso de que UTE no completara el compromiso anual de horas y mientras no se haya completado el compromiso total de horas puestas a disposición para el plazo del contrato (compromiso global), se compensará al cliente por un monto total igual a multiplicar 15 US\$/MWh (valor del año 2025, ajustado de forma anual por PPI) por la cantidad de horas faltantes del compromiso anual y por la potencia asociada al Producto Comercial. Dichas horas, serán descontadas del compromiso global de UTE con el cliente.

- Finalizado el plazo del contrato y en caso de que UTE no completara el compromiso global de horas, se compensará al cliente por cada hora faltante según el esquema del párrafo anterior (15 US\$/MWh, valor del año 2025, ajustado de forma anual por PPI), sólo por las horas que no hayan sido compensadas durante el año correspondiente al compromiso anual.

- En caso de haberse alcanzado el compromiso de horas establecido con cada cliente, antes de cumplidos los 5 años, y tener la posibilidad de suministrar energía de tipo intermitente asociadas a bajo costo marginal de generación por más horas dentro del período establecido en el contrato, UTE podrá poner a disposición la energía adicional con un descuento tal que el precio resultante sea de 40 US\$/MWh (valor del año 2025, ajustado de forma anual por PPI), sin compromiso mínimo de cantidad de horas asociado a ese eventual suministro de energía adicional; sujeto también a la disponibilidad de red correspondiente, y a las condiciones para acceder al descuento comercial sobre la potencia asociada al equipamiento.

- El cliente se compromete a asegurar durante el plazo de vigencia del Contrato que la energía

obtenida en el marco de este Producto Comercial se destine estrictamente al uso acordado, debiendo autorizar a UTE que así lo requiera acceder a las instalaciones a los efectos de realizar las verificaciones que entienda necesarias para asegurar que el uso de la energía corresponda exclusivamente al Producto Comercial y que su sub-medición se encuentra en condiciones regulares y de buen funcionamiento.

- En caso de verificarse incumplimientos al Contrato, UTE podrá rescindir unilateralmente el mismo, sin perjuicio de otras acciones legales y reglamentarias que correspondan.

7. ANEXO II - EJEMPLOS DE APLICACIÓN POWER TO HEAT (trabajo realizado por Facultad de Ingeniería, UdelAR)

En el marco de la sustitución de combustibles fósiles por electricidad en la industria, se identifican dos grandes líneas de aplicación bajo el concepto *power to heat*: la electrificación de generadores de vapor y las soluciones de calor directo eléctrico. En ambos casos, la alternativa eléctrica se considera para operar exclusivamente en las horas de menor costo, complementando el resto del período con el uso de combustibles fósiles. Estas opciones presentan oportunidades concretas en diversos subsectores industriales, ya sea mediante la incorporación de calderas eléctricas, la adaptación de equipos existentes o la implementación de tecnologías de calentamiento de aire y secado. A continuación, se presentan los principales resultados del relevamiento realizado a partir de la base de datos BNEU y de la URSEA, seguidos de ejemplos de posibles propuestas técnicas que ilustran alternativas aplicables.

Generadores de vapor que usan combustibles fósiles

A continuación se presenta un relevamiento de generadores de vapor que utilizan fuel oil (FO), gas natural (GN), gas propano (GP) y gasoil (GO), con el objetivo de disponer de un panorama general sobre las características y escalas de estos equipos e identificar oportunidades. De la Tabla 1 se observa que el fuel oil concentra la mayoría de los generadores, mientras que el gas natural y el gas propano tienen una participación secundaria y el gasoil aparece de forma marginal; en todos los casos predominan equipos de tamaño mediano. Para evaluar la conveniencia de una alternativa de electrificación, es necesario considerar las horas efectivas de operación de cada generador, dado que muchos equipos que emplean combustibles fósiles funcionan como respaldo de calderas a biomasa, lo que condiciona la viabilidad de una alternativa eléctrica en régimen alternado.

Tabla 1: Características de generadores de vapor humotubulares a combustibles fósiles, muestra de 210 generadores de vapor, P: pequeño, M mediano.

Combustible (Tamaño)	PMTA (barg)	PT (barg)	Producción (kg/h)	Superficie (m ²)	% Muestras
FO (P)	1,0 – 7,0	0,8 – 6,4	100 – 2000	2,7 – 70,0	16,2 %
FO (M)	7,2 – 20,6	3,9 – 18,1	125 – 37 500	2,9 – 990,0	58,1 %
GN (P)	1,0 – 6,9	1,0 – 5,5	200 – 1800	16,0 – 53,0	2,4 %
GN (M)	7,8 – 14,7	3,9 – 13,7	500 – 8000	12,0 – 184,0	7,1 %
GLP (P)	4,9 – 6,9	2,6 – 7,8	70 – 300	6,1 – 16,5	1,9 %
GLP (M)	7,8 – 13,0	5,0 – 12,0	160 – 12 000	4,0 – 266,0	5,2 %
Comb. Dual (P)	1,3 – 6,5	1,0 – 5,9	500 – 5000	5,0 – 22,5	1,9 %
Comb. Dual (M)	7,2 – 12,0	4,9 – 10,0	200 – 10 000	9,4 – 227,0	4,8 %
GO (P)	3,0 – 4,5	2,5 – 3,9	600 – 1200	17,8 – 35,0	1,0 %
GO (M)	9,0 – 11,8	5,9 – 6,1	1000 – 2000	28,0 – 109,0	1,4 %

Por otra parte, en la Tabla 2 se observa que el consumo de energía útil de origen fósil se concentra en los subsectores lácteos y papel y celulosa, seguidos por bebidas y tabaco y frigoríficos, mientras que las otras alimenticias muestran un uso más diversificado entre distintas fuentes.

Tabla 2: Consumo de Energía Útil de los industriales por fuente fósil en MWh

Subsector	GN	GP	FO	Total	Horas	Industrias
Frigoríficos	126	1.275	40.508	43.043	1.792	203
Lácteos	433	45	215.746	216.224	2.338	238
Otras Alimenticias	11.632	8.179	4.729	2.454	2.755	2.401
Bebidas y Tabaco	24	671	38.769	39.464	2.002	298
Papel y Celulosa	0	10	28.627	28.638	2.437	560
Química Caucho, Plástico y	697	3.244	41.604	45.544	2.729	592

Textil						
Otros subsectores	315	0	8.218	8.533	-	4.798
Total	13.227	13.425	378.201	383.900	>14.053	9.090

Usos de calor directo de combustibles fósiles en procesos térmicos

Se identifican distintos procesos industriales que dependen de gas natural (GN), propano (GP) o fuel oil (FO) como fuentes principales de energía térmica. La Tabla 3 resume los principales casos relevados:

Tabla 3: Usos de calor directo de combustibles fósiles en procesos industriales

Proceso	Combustible	Potencia nominal (MW)	Temperatura (°C)	Horas/año
Hornos de panificado	GN	0,10–0,25	220–300	3.000
Hornos de panificado	GP	0,25–0,5	220–300	3.000
Hornos medianos	GP	<0,25	150	5.000
Secaderos de granos	GP	1–2	60–100	600–1.000
Secaderos	GP	0,5–3	100–300	500–1.500
Secaderos de sangre	GP / FO	~1	350	4.000
Hornos metalúrgicos	FO	0,3–0,7	500–700	7.000
Hornos metalúrgicos	FO	4	400	4.000
Calentadores de aire	FO	0,75	200	6.000
Secaderos spray	FO	2	240	>6.000

Este panorama muestra la relevancia de los combustibles fósiles en múltiples aplicaciones y, al mismo tiempo, las oportunidades de incorporar energía eléctrica en horarios de bajo costo. Entre los usos térmicos identificados, el calentamiento de aire ocupa un lugar destacado en varios subsectores industriales.

Sobre la base de los datos relevados, se presentan a continuación ejemplos de posibles propuestas técnicas para electrificar procesos actualmente abastecidos con combustibles fósiles. No constituyen una lista exhaustiva, sino una muestra de algunas alternativas que pueden considerarse en proyectos de

electrificación. Cada propuesta deberá ser evaluada en función de las condiciones específicas de la instalación, así como de la factibilidad técnica y económica de su implementación.

Idea 1 – Adaptación de caldera existente - vapor o agua caliente

Descripción general

La propuesta consiste en incorporar recipientes a presión externos al cuerpo original, equipados con resistencias eléctricas tipo *heat flange* e interconectados hidráulicamente con el cuerpo de presión existente. Según la potencia requerida, estas resistencias pueden montarse en tanques o en haces de tubos modulares en paralelo. La conexión al cuerpo de presión se realizaría mediante un único colector de entrada y otro de salida, a fin de minimizar la intervención sobre el equipo original.

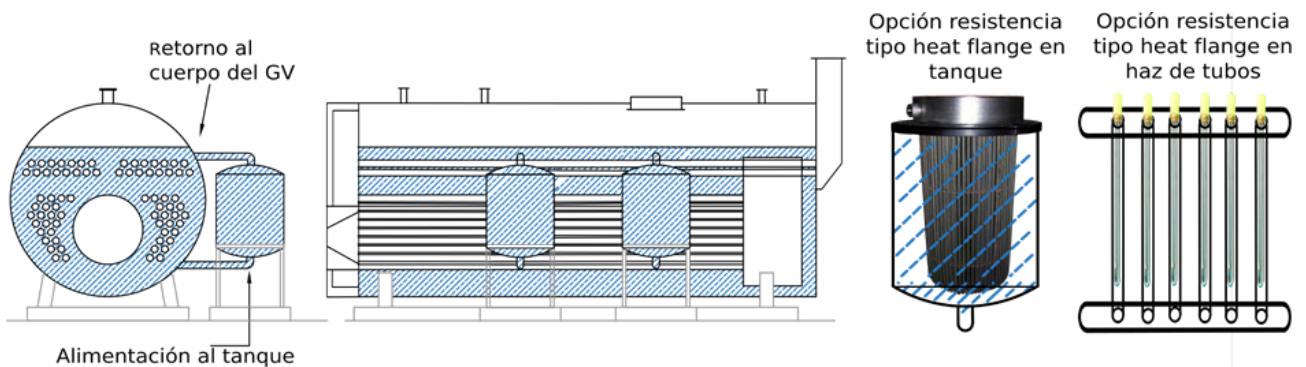


Figura 1: Esquema de adaptación de caldera existente con resistencias *heat flange*.

Esta solución permite integrar un aporte eléctrico directamente al generador existente, con una intervención mínima sobre su cuerpo de presión. El cuerpo a presión asociado al sistema eléctrico puede dimensionarse con un volumen reducido, dado que el generador fósil actúa como reserva principal de agua; por lo tanto, su tamaño se define principalmente por la transferencia de calor y la adecuada refrigeración de las resistencias. El cálculo del volumen debe considerar la circulación interna: si el cuerpo opera completamente inundado, se favorece la convección y aumenta el coeficiente de transferencia de calor alrededor de las resistencias, lo que permite reducir el volumen para una misma potencia instalada.

Ventajas

- Tecnología simple con gran oferta de resistencias del tipo *heat flange*.
- Intervención mínima y reversible sobre el cuerpo a presión.
- Acumulación compartida: el acople hidráulico al cuerpo de presión conserva el mismo volumen útil en modo fósil o eléctrico y evita perder calor al alternar entre fuentes (a diferencia de un generador eléctrico en paralelo).

- Posibilidad de sustituir total o parcialmente la fuente original de calor.
- Diseño a medida adaptable al espacio físico disponible.
- Tratamiento de agua similar al de calderas convencionales.
- Se pueden diseñar sistemas modulantes con varias resistencias en paralelo.

Desventajas

- Para grandes potencias, puede requerir instalaciones eléctricas de costo elevado.
- Debe cumplir la normativa aplicable a modificaciones de cuerpos a presión.
- Es necesario asegurar la circulación interna adecuada, lo que puede implicar un rediseño parcial.
- Las resistencias tipo heat flange se ofrecen hasta 4160 V.

Idea 2 – Caldera eléctrica en paralelo - vapor o agua caliente

Descripción general

Se plantea instalar una caldera eléctrica en paralelo a la caldera o generador de vapor convencional. Es aplicable en instalaciones con demanda de agua/vapor continua, donde se busca flexibilidad para operar con energía eléctrica o con combustibles fósiles.



Figura 2: Generadores de vapor eléctricos. Los primeros dos con resistencias y el tercero de electrodos.

Tabla 4: Principales características de las tecnologías

Categoría	Baja tensión	Media tensión
Tecnología	Resistencias	Electrodos
Rango de potencia típico	~30 kW – 4 MW (modular).	2- 100 MW (60 MW en Alunorte Brazil)

Tensión de suministro	Hasta 600 V	Hasta 24 kV
------------------------------	-------------	-------------

Ventajas

- Tecnología difundida, con amplia oferta comercial a nivel mundial.
- Fabricación y control de potencia sencillos.
- Modularidad que facilita la adaptación a distintas escalas.
- Menor volumen de agua: hasta 5 veces menos que una caldera convencional equivalente.

Desventajas

- Inversión moderada en baja potencia y elevada en alta potencia.
- Costo adicional si se requieren adaptaciones en la instalación eléctrica.
- Se requiere más espacio para ambas calderas (fósil y eléctrico)
- Los sistemas con electrodos requieren tratamiento de agua para mantener la conductividad.
- A diferencia de la Idea 1, la caldera eléctrica no comparte acumulación con la fósil, por lo que se pierde el calor cuando permanece apagada durante largos períodos. Asimismo, requiere un tiempo de entrada en régimen antes de entregar calor útil, lo que puede inviabilizar esta alternativa en un esquema de funcionamiento de pocas horas con prolongados intervalos de inactividad, como ocurre en el régimen de utilización en evaluación.

Ejemplos de implementación.

Ejemplo: generador de vapor eléctrico de baja tensión (1,4 MW) instalado en el lavadero de lanas.

Idea 3 – Calentamiento de aire con resistencias eléctricas para secado

Descripción general

Consiste en instalar resistencias eléctricas en un circuito de aire paralelo al circuito original, aportando el calor necesario para alcanzar las temperaturas de trabajo en la cámara de secado. Aplica a secaderos con calentamiento de aire, ya sea mediante mezcla de humos o utilizando fluido térmico o vapor. Se identifican tecnologías tanto en media como en baja tensión.

En la Figura 3 se presenta el caso en el que el aire de secado se mezcla con los humos provenientes de la cámara de combustión previo al secadero.

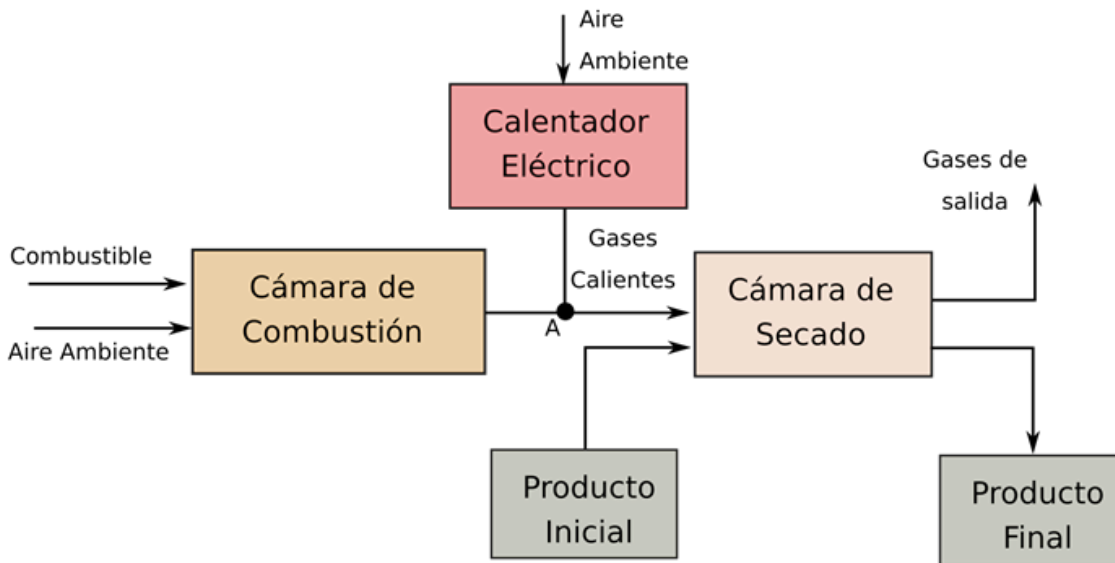


Figura 3: Diagrama de secadero con mezcla de humo y aire.

Ventajas:

- Oferta industrial amplia (potencias y tamaños).
- Integración simple: se instala en bypass del conducto existente.
- Alta temperatura de proceso posible (hasta ~750 °C en diseños específicos).
- Baja Tensión (BT)
 - Mayor disponibilidad y repuestos estándar.
 - Volumen más compacto del calentador.
 - Bancos modulares (escalable por etapas).
 - Más económica en potencias bajas (usualmente $\leq \sim 1$ MW) y recorridos cortos (menor inversión e instalación sencilla).
- Media Tensión (MT)
 - Corrientes menores \Rightarrow conductores más livianos, menor caída de tensión y pérdidas.
 - Compensa la inversión en mayores potencias, distancias largas y/o uso continuo.

Desventajas:

- Baja Tensión (BT): Corrientes elevadas en potencias altas, cables de gran sección, mayor caída de tensión, más pérdidas.
- Media Tensión (MT): Menor disponibilidad de equipos y proveedores; mayor complejidad de celdas/protecciones.
- En caso de instalarse las fuentes de calor en paralelo, al conmutar se pierde la energía acumulada de cada sistema.

Observaciones:



- Debe evaluarse la relevancia de las pérdidas de calor del sistema eléctrico al conmutar la fuente, considerando la inercia térmica de las resistencias y la posibilidad de mantener circulación de aire para aprovechar la energía remanente. Asimismo, es importante tener presente que, bajo el esquema de operación a considerar, el sistema eléctrico funcionará pocas horas y tendrá largos períodos de inactividad.
- Las pérdidas en la cámara de combustión dependen de cada sistema y se atenúan al tratarse de inactividades breves frente a períodos prolongados de operación.
- Finalmente, puede evaluarse la operación en serie instalando las resistencias antes del ingreso de aire a la cámara de combustión; este análisis dependerá de la tecnología de la cámara, del sistema de alimentación de aire al quemador y de la existencia de bypass de aire en el propio quemador.

Ejemplos de implementación

A continuación se presentan ejemplos de dimensionamiento para tres casos reales analizados como alternativas para el secado de sales, leche en polvo y suero de leche en industrias del medio local, considerando dos fabricantes de equipos para media (SAN) y baja tensión (AB&CO).

Tabla 5: Ejemplos de aplicación basados en equipos de AB&CO y SAN Electro Heat

Caso	Potencia a instalar (kW)	Dim. Tecnología 1 - Baja Tensión	Dim. Tecnología 2 - Media Tensión
Industria química - secado de sales	5.326	2,3 m x 2,3 m x 2,8 m (AB&CO)	2,0m x 2,0m x 9,0 m (SAN)
Industria láctea A - leche en polvo	6.893	2,6 m x 2,6 m x 2,6 m (AB&CO)	2,0m x 2,0m x 12,5 m (SAN)
Industria láctea B -	986	1,3 m x 1,3m x 1,9 m	1,6 m x 1,6 m x 3,0 m (SAN)

suero de leche		(AB&CO)	
Ejemplo de tecnología de calentador			

Idea 4 – Calentamiento eléctrico del fluido térmico

Descripción general

La propuesta consiste en incorporar un calentador eléctrico que aporte calor mediante un circuito de fluido térmico independiente, a través de un nuevo intercambiador aire–fluido térmico instalado en serie con el equipo existente. De este modo, el lado aire mantiene condiciones de intercambio equivalentes a las del sistema original (sin intervención directa de resistencias). El esquema aplica a instalaciones que ya disponen de calentamiento de aire mediante fluido térmico o vapor.

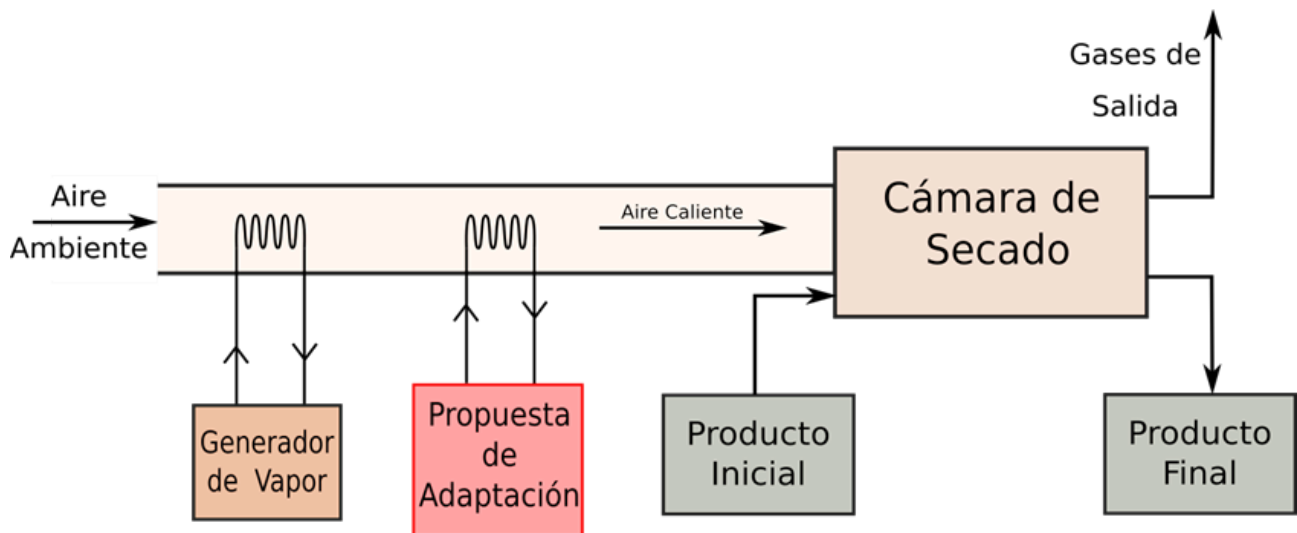


Figura 4: Secadero donde el aire se calienta a través de un intercambiador de calor con vapor. Propuesta de adaptación con intercambiador con fluido térmico.

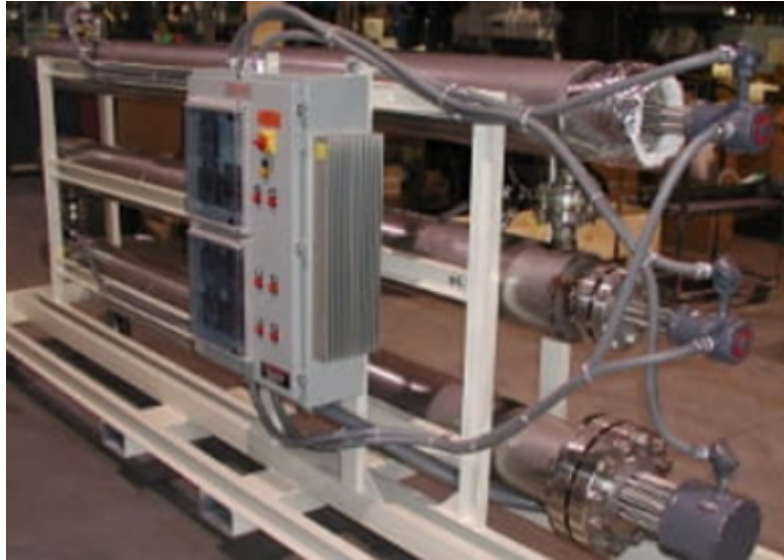


Figura 5: Ejemplo de tecnología de calentador

Ventajas:

- Alta densidad de potencia.
- Modulares, compactos y livianos.
- Respuesta rápida y temperatura uniforme.
- Alta eficiencia ~99%.
- Al trabajar en serie con el sistema existente, se minimizan las pérdidas por cambio de fuente.

Desventajas:

- Temperatura de trabajo limitada por el fluido térmico.
- Añade pérdida de carga (ΔP).
- Requiere mantener la calidad (propiedades) del fluido térmico.

Observaciones:

- Evaluar la inercia térmica del fluido térmico y la posibilidad de mantener su circulación tras la conmutación para aprovechar la energía remanente.

- Cuantificar las pérdidas por efecto aleta del sistema de fluido térmico cuando esté fuera de servicio, en particular si queda aguas abajo del generador de vapor.

Ejemplos de implementación

A continuación se presentan ejemplos de dimensionamiento para dos casos reales analizados como alternativas para el secado de leche en polvo y suero de leche en industrias del medio local, considerando catálogos de la empresa Watlow.

Tabla 6: Ejemplos de aplicación basados en equipos del fabricante Watlow.

<i>Caso</i>	<i>Potencia a instalar (kW)</i>	<i>Dim. Tecnología 1 - Circulation Heaters</i>
Industria láctea A	6.893	35 x (L= 2,69 m ; D=0,41 m ; P=200 kW)
Industria láctea B	986	5 x (L= 2,69 m ; D=0,41 m ; P=200 kW)