

Alternativas de Ahorro en Plantas Térmicas.

1. Introducción

El objetivo de este artículo es llamar la atención sobre las interesantes alternativas existentes, para reducir los costos operacionales en Plantas Térmicas.

Estas alternativas tienen principalmente relación con la generación de ahorros de combustible, a través de la recuperación de calor, que en la está siendo desechado.

La implementación de tipo de proyectos resulta sumamente rentable, dada la ausencia de gas natural y el elevado costo de los combustibles de “respaldo”.

2. Factores que Influyen en Pérdidas de Calor

Los factores que influyen en las pérdidas de calor en una Planta Térmica son los siguientes:

2.1 Exceso de Aire

Con el fin de asegurar una combustión completa del combustible utilizado en una caldera (quemador), es necesario operar con un exceso de aire superior al estequiométrico.

La magnitud del exceso de aire depende del tipo de combustible y la tecnología del quemador utilizado.

En la tabla N°2.1 entrega valores referenciales, para excesos de aire típicos, según el tipo de combustible utilizado.

Combustible	Exceso de Aire Típico
Gas	10 %
Petróleo Liviano	20 %
Petróleo Residual	25 – 30 %
Carbón	15 – 20 % (pulverizado) 30 – 40 % (parrilla)

Tabla N°2.1: Exceso de aire típico para distintos combustibles.

El hecho de trabajar con un exceso de aire mayor que el requerido se traduce en un aumento en las pérdidas de calor en los productos de la combustión, ya que, una fracción importante del calor liberado es utilizada para calentar el aire suministrado en exceso, desde la temperatura a la que ingresa a la caldera

hasta la que posee al salir por la chimenea, junto al resto de los productos de la combustión.

En la figura N°2.1 se muestra en forma referencial la relación existente entre la eficiencia térmica y el exceso de aire.

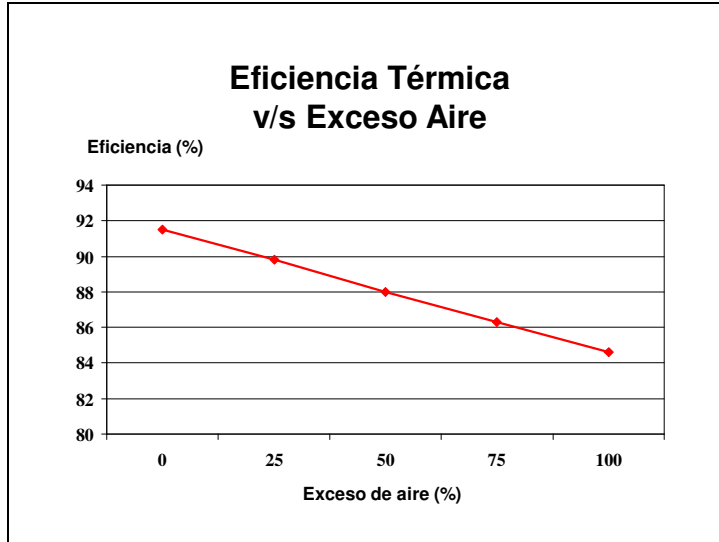


Figura N°2.1: Eficiencia térmica v/s exceso de aire.

A modo de referencia se tiene un aumento de 1.0 % en el consumo de combustible por cada 10 % de incremento en el exceso de aire.

En el caso de operar con excesos de aire superiores a los sugeridos en la tabla se recomienda realizar ajustes tendientes a reducir el exceso de aire, hasta un nivel que permita asegurar una baja emisión de CO (100 ppm).

2.2 Temperatura en Chimenea

El aumento en la temperatura de salida de gases de una caldera, aumenta la pérdida de calor en los productos de la combustión y con ello reduce su eficiencia térmica.

La figura N°2.2 se muestra en forma referencial como disminuye la eficiencia térmica de una caldera con el aumento en la temperatura de descarga de los productos de la combustión.

A modo de referencia se puede considerar que por cada 20 °C que aumento al temperatura en la chimenea, aumenta en un 1.0 % el consumo de combustible.

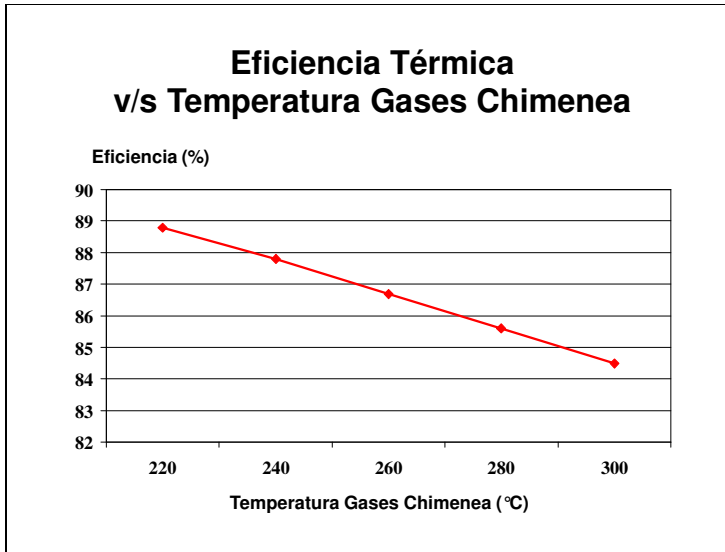


Figura N°2.2: Eficiencia térmica v/s temperatura salida de gases.

Entre los factores que pueden tener incidencia con una excesiva temperatura en chimenea destacan:

- a) El ensuciamiento del circuito de gases con hollín, producto de una deficiente combustión o insuficiente limpieza.



Figura N°2.3: Hollín en tubos caldera.

- b) La presencia de incrustaciones por el lado agua, producto de un deficiente tratamiento de agua (régimen de purgas)
- c) Deficiencias de diseño o sobrecarga térmica.



Figura N°2.4: Incrustaciones en lado agua calderas.

En las figuras N°2.5 y N°2.6 es posible observar la relación entre el espesor de la capa de hollín o incrustaciones con el aumento en el consumo de combustible.

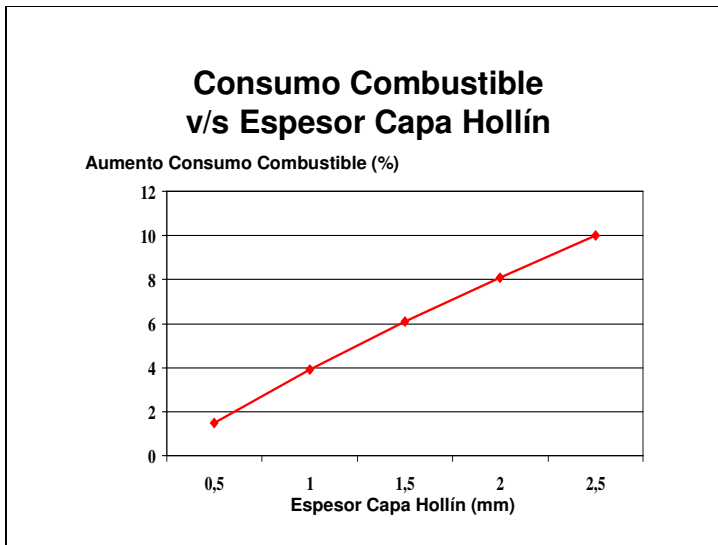


Figura N°2.5: Aumento consumo combustible con espesor capa hollín.

De acuerdo a lo hasta aquí expuesto sería conveniente trabajar con la menor temperatura posible en chimenea.

Esta afirmación es correcta desde el punto de vista de la eficiencia, sin embargo, se debe considerar además que un enfriamiento de los productos de la combustión puede provocar condensación ácida y corrosión en la chimenea.

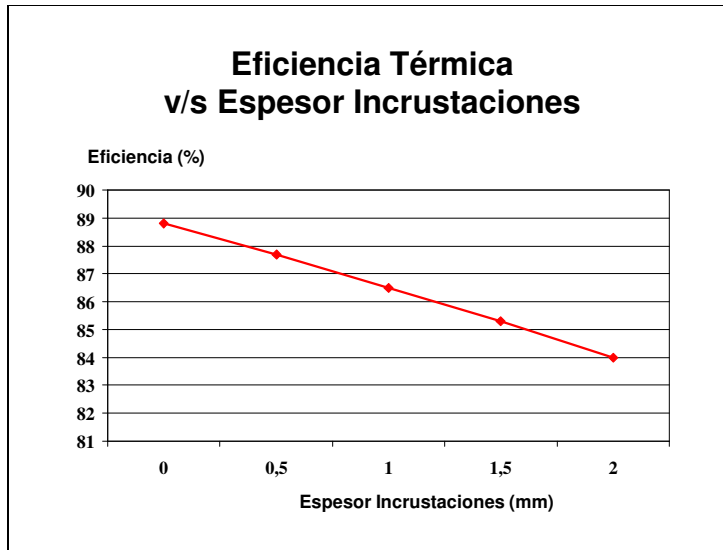


Figura N°2.6: Aumento consumo combustible con espesor capa incrustaciones.

La tabla N°2.2 muestra las temperaturas mínimas recomendadas para los distintos combustibles, de tal manera de prevenir problemas de condensación ácido y corrosión de la chimenea.

Combustible	Punto Rocío Ácido	Temperatura Mínima Chimenea	Temperatura Admisible Agua Alimentación
Gas Natural	65 °C	121 °C	100 °C
Petróleo Liviano	82 °C	135 °C	100 °C
Petróleo Bajo Azufre	93 °C	148 °C	104 °C
Petróleo Alto Azufre	110 °C	160 °C	115 °C

Tabla N°2.2: Temperaturas mínimas en chimenea.

Un exceso en la temperatura de los productos de la combustión por sobre los valores mínimos recomendados en chimenea, se traduce en un potencial de ahorro de combustible.

2.3 Ciclo de Concentración (% de purga)

El ciclo de concentración (CC) es la razón entre el agua de alimentación de una caldera y el agua descargada por la purga.

El ciclo de concentración o % de purga, depende de factores tales como calidad del agua de reposición y porcentaje de recuperación de condensado, presión de trabajo y tipo de caldera (acu o piro tubular).

Mientras menor sea el CC mayor será la cantidad de agua eliminada a través de la purga y viceversa.

El agua eliminada a través de la purga posee la temperatura de saturación del vapor (por ejemplo: 184 °C a 10 barg) y por lo tanto contiene una no despreciable cantidad de calor (por ejemplo 184 Kcal/Kg a 10 barg).

La figura N°2.7 muestra la relación existente entre el potencial de ahorro de combustible, el ciclo de concentración y la presión de trabajo.

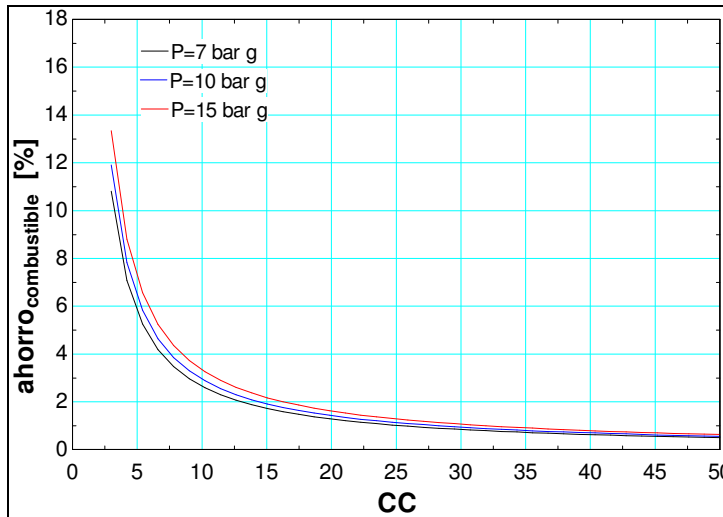


Figura N°2.7: Ahorro combustible v/s CC.

Tal como se observa en esta figura, el potencial de ahorro puede ser sumamente interesante si el CC es bajo (inferior a 15).

2.4 Recuperación de Condensado

La recuperación de condensado es otra interesante alternativa de reducir el consumo de combustible.

El aprovechamiento del condensado, se traduce en un aumento en la temperatura del agua de alimentación y por lo tanto de un menor requerimiento de calor (combustible) para su transformación en vapor.

A modo de referencia se podemos señalar que por cada 10 % de condensado recuperado es posible acceder a un ahorro de combustible superior al 1.0 %.

Todo condensado generado por vapor utilizado en intercambiadores de calor puede ser recuperado y representa un potencial para reducir el consumo de combustible.

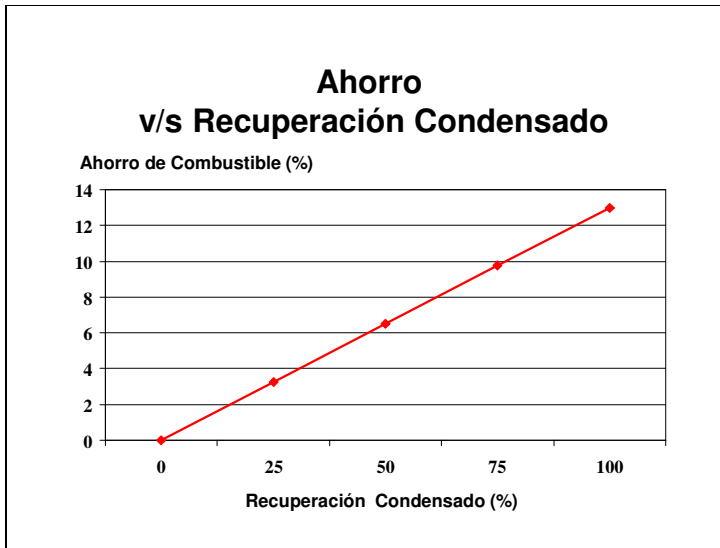


Figura N°2.8: Ahorro de combustible v/s recuperación condensado.

2.5 Carga Operación Calderas

La eficiencia térmica de una caldera alcanza su valor máximo cuando estos equipos operan por sobre el 75 %, tal como lo muestra la figura N°2.9.

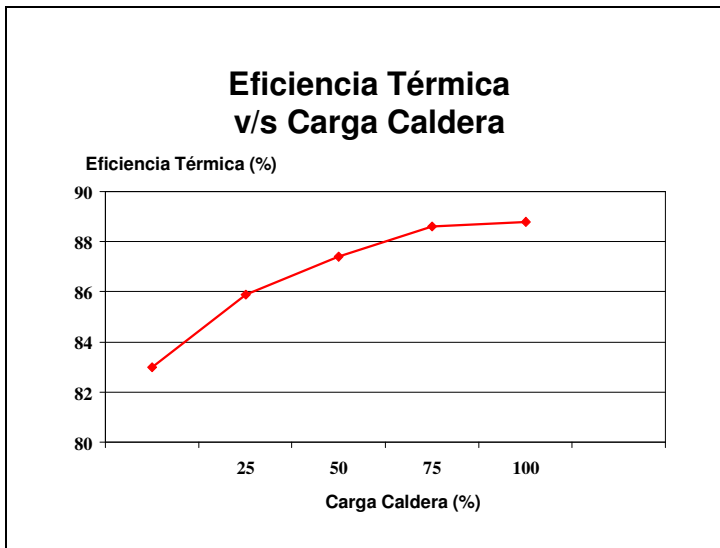


Figura N°2.9: Eficiencia v/s carga de caldera.

La curva de este gráfico tiene su explicación en dos hechos:

- El primero tiene relación con que la pérdida de calor por radiación de una caldera es independiente de la carga, por lo que porcentualmente es mayor mientras menor sea la carga de trabajo.

b) El segundo tiene relación con el hecho de que los quemadores deben operar con un exceso de aire mayor al disminuir su carga, para asegurar una buena mezcla aire combustible.

Es por ello que, desde el punto de vista de la eficiencia térmica, es recomendable operar una caldera por sobre el 75 % de carga.

Este comentario debe ser considerado al dimensionar (o sobredimensionar) una caldera y al contar con una planta térmica con varias calderas, para satisfacer una demanda de vapor.

En este último caso resulta más eficiente operar con una caldera al 100 % de carga, que con dos calderas al 50 %.

3. Alternativas de Recuperación de Calor

A continuación se describen las alternativas existentes para recuperar calor y con ello obtener una reducción en el costo de operación de una Planta Térmica.

3.1 Reducción Exceso de Aire

La reducción del exceso de aire en una caldera, atraviesa por la realización de una regulación del quemador, sobre la base del análisis de los productos de la combustión (O₂ y CO).

Este tipo de trabajo puede ser realizado por empresas, que realizan servicios para calderas y quemadores, con un bajo costo comparado con los ahorros asociados.

3.2 Reducción Temperatura en Chimenea

La reducción de la temperatura en chimenea puede ser conseguida a través de la limpieza del circuito de gases o la eliminación de las incrustaciones del lado agua mediante un lavado ácido.

En el caso de una caldera, que a pesar de poseer un circuito de gases libre de hollín y ausencia de incrustaciones en el lado agua, posee una elevada temperatura de salida de gases, existe la posibilidad de recuperar calor calentando el agua de alimentación y/o calentando el aire para la combustión.

El calentamiento del aire para la combustión se puede conseguir mediante un precalentador de aire y es aplicable para calderas con combustibles sólidos.

En el caso de las calderas con combustibles líquidos o gaseosos se utilizan economizadores, que corresponden a intercambiadores de calor capaces de transferir el calor en los productos de la combustión al agua de alimentación.

En la figura N°3.1 y N°3.2 se muestran un esquema y una fotografía de economizadores instalados en calderas.

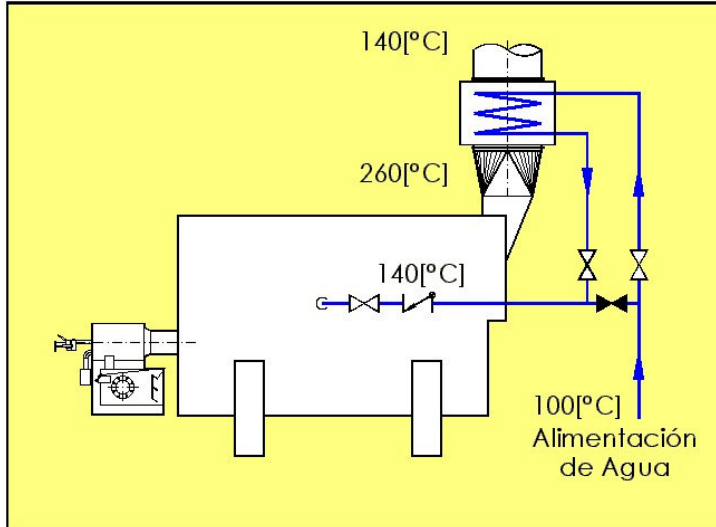


Figura N°3.1: Economizador instalado en caldera.



Figura N°3.2: Fotografía economizadores.

3.3 Recuperación Calor Purgas

La recuperación del calor presente en las purgas es conseguida mediante equipos compuestos por un estanque de expansión y un intercambiador de calor.

El estanque de expansión permite generar y recuperar el calor latente (vapor flash) aprovechándola en el desaireador y el intercambiador de calor es utilizado para precalentar el agua de reposición o make up, tal como lo muestra la figura N°3.3

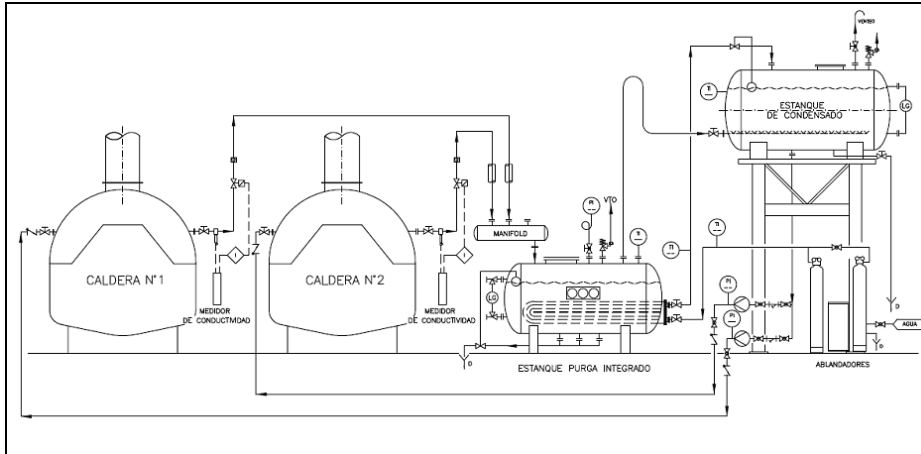


Figura N°3.3: Sistema recuperación calor purgas.

En el caso de incorporar sistemas de recuperación de calor para las purgas, también resulta conveniente complementarlos con purgas automáticas de superficie.

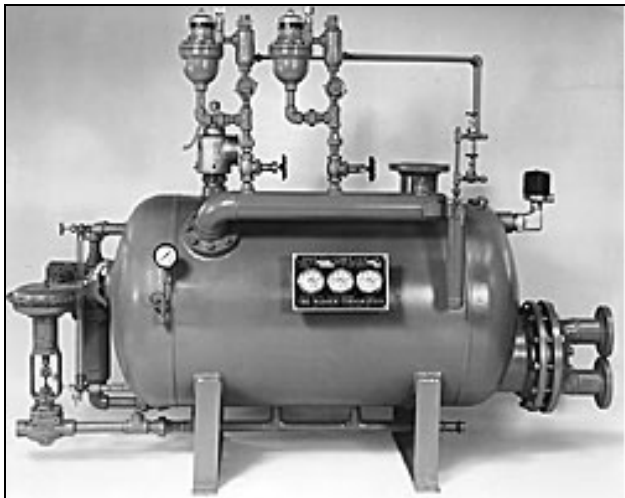


Figura N°3.4: Sistema recuperación calor purgas.

Las purgas automáticas de superficie están compuestas por un conductivímetro, un controlador y una válvula de control.

El conductivímetro registra en todo momento la conductividad del agua de la caldera, siendo esta lectura comparada con el set point (CC requerido) por el controlador y luego generando una acción sobre la válvula de control.

Este tipo de sistemas permiten asegurar en todo momento una cantidad de purga exacta, no excesiva para minimizar pérdida de calor y no insuficiente para provocar incrustaciones o corrosión en el lado agua.

3.4 Aumento Recuperación de Condensado

La recuperación de condensado tiene relación la instalación líneas que permitan enviar el condensado desde los equipos que lo generan de regreso a la Planta Térmica.

En algunos casos, cuando la distancia entre el punto donde se genera el condensado y la Planta Térmica es excesivo, o bien si la presión de descarga del condensado es baja, resulta recomendable considerar sistemas de bombeo (bombas eléctricas o de vapor).

Un sistema de recuperación de condensado típico está compuesto por un estanque de expansión (flash), una bomba de condensado y las líneas para impulsarlo a la Planta Térmica.

3.5 Aumento Carga Calderas

El ahorro de combustible a través del aumento de la carga de las calderas, tiene relación con la selección de calderas de capacidad adecuada (no excesivamente sobredimensionadas) para la aplicación, o bien la operación de un conjunto de calderas a la mayor carga posible.

4. Otras Alternativas de Ahorro

A continuación se presentan otras alternativas para obtener ahorros asociados en un Planta Térmica.

4.1 Calefacción del Petróleo Residual con Vapor en Lugar de Electricidad

En aquellas Plantas Térmicas en las que se utilice petróleo residual como combustible, resulta más económico realizar su calentamiento con intercambiadores de calor que utilicen vapor en lugar de calefactores eléctricos.

El valor del KW de calentamiento usando vapor tiene un costo de **US\$ 0.05** de vapor y utilizando energía eléctrica de **US\$ 0.18**, casi **4** veces menos.

No obstante lo anterior, siempre es necesario contar con calefactores eléctricos de petróleo, para realizar las puestas en servicio cuando no existe vapor disponible.

Estos calefactores son generalmente dimensionados para un **25 %** de la capacidad nominal de calentamiento requerida y se considera que dejan de ser utilizados al existir vapor disponible.

A modo de referencia podemos señalar que el consumo de vapor para calentamiento de vapor es de aproximadamente **5.5 Kg/ton** de vapor producida.

4.2 Aprovechamiento Gases de Escape Generadores Eléctricos

En el caso de disponer de generadores eléctricos en operación continua, o bien para cortar horas punta, es posible aprovechar el calor presente en los productos de la combustión para generar vapor o agua caliente.

A modo de referencia, es posible generar aproximadamente 830 Kg/h de vapor o 450000 Kcal/h por cada MW instalado del generador eléctrico.

El calor presente en los productos de la combustión descargados por el generador eléctrico, generalmente descargados por sobre los 450 °C, pueden ser recuperados en una caldera recuperadora de características similares a la mostrada en la Figura N°5.1.

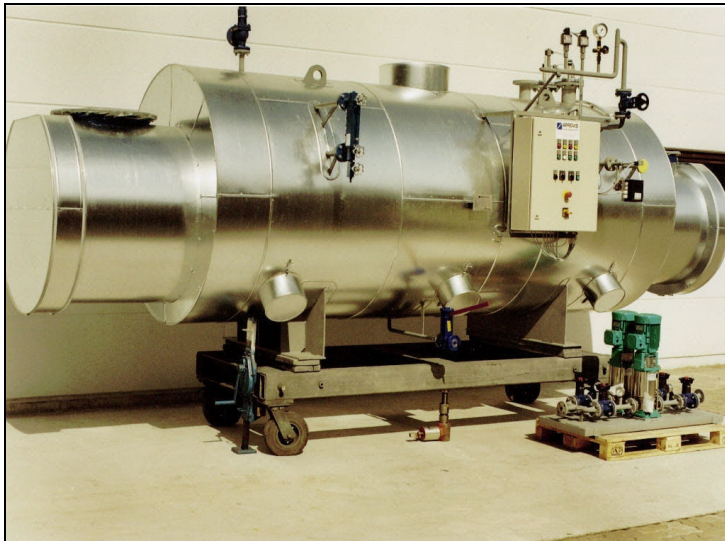


Figura N°5.1: Caldera recuperadora APROVIS.

5. Ejemplo

A continuación se presenta el ejemplo de una planta térmica compuesta por tres calderas, que utilizan petróleo Diesel como combustible y presenta las siguientes condiciones de operación:

- Consumo mensual de combustible : 400000 litros

ARTÍCULO TÉCNICO
ALTERNATIVAS DE AHORRO EN PLANTAS TÉRMICAS

- Precio petróleo Diesel : 385 \$/l
- Presión de trabajo : 10 barg
- Ciclo de concentración : 5 (25 % de purga)
- Recuperación de condensado actual : 25 %
- Condensado recuperable : 75 %
- Temperatura gases chimenea : 280 °C
- Exceso de aire : 40 %
- Carga calderas : 50 %

Las alternativas de ahorro para este ejemplo son las siguientes:

- Ahorro de 2 % por reducción de exceso de aire
- Ahorro de 6 % por aprovechamiento calor en productos de la combustión descargados por la caldera, mediante un economizador.
- Ahorro de 6 % por recuperación calor purgas
- Ahorro de 5 % por aumento de recuperación de condensado de 25 % a 75 %.
- Ahorro de 5.0 % por operación con dos calderas a un 75 % de carga en lugar de 3 a un 50 % de carga.

Los ahorros, inversiones asociadas y período de recuperación de la inversión son los siguientes:

Alternativa	Ahorro Anual	Inversión	Recuperación Inversión
Reducción exceso de aire	37 M\$	1 M\$	2 semanas
Economizador	110 M\$	22 M\$	3 meses
Recuperación calor purgas	110 M\$	18 M\$	2 meses
Aumento recuperación condensado de 25 % a 75 %	92 M\$	25 M\$	3 meses
Operación calderas a mayor carga	92 M\$	0 M\$	

Tabla N°5.1: Ahorros, inversiones y recuperación de la inversión.

Nota: M\$ corresponde a millones de pesos chilenos.

6. Conclusiones

El presente artículo permitió identificar un conjunto de alternativas para generar ahorros en Plantas Térmicas, cuyas inversiones pueden ser rápidamente recuperadas debido al elevado precio de los combustibles.

Arnulfo Oelker Behn – aoelker@thermal.cl
Thermal Engineering Ltda.