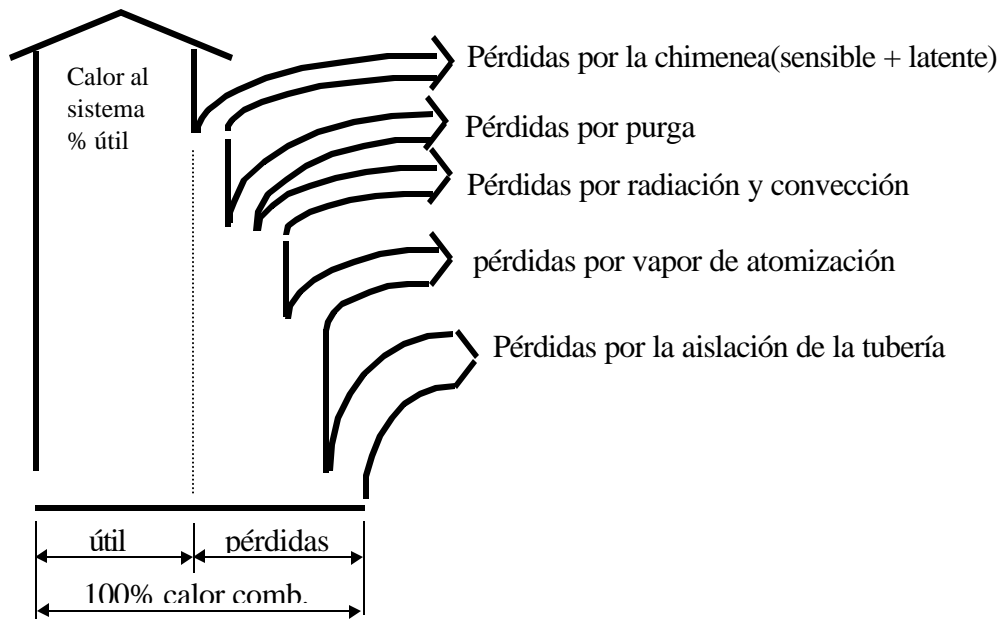


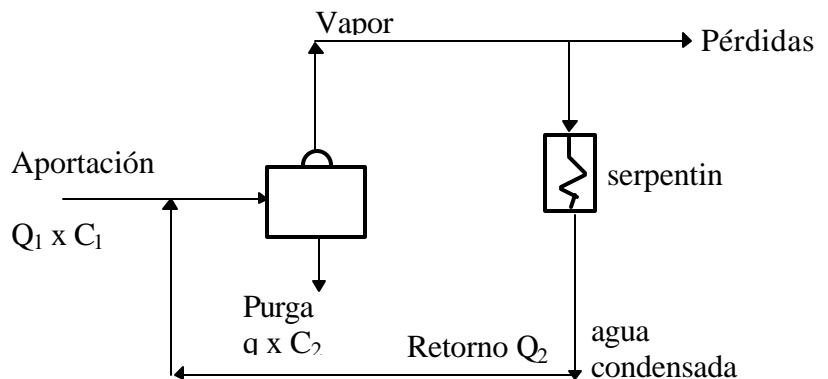
Análisis Económico



Ahorros en el agua de calderas

Admitiremos que el vapor no arrastra salinidad. En este sistema se alcanza el equilibrio estable cuando el peso de sales extraídas con las purgas, sea igual al peso de las sales introducida con el agua de aportación (puesto que el agua de retorno se considera pura).

$$Q_1 \cdot C_1 = q \cdot C_2$$



dónde:

Q_1 : caudal de aportación con una concentración C_1

q : Caudal de purgas.

C_2 : concentración en la caldera.

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{Q_1}{q}$$

La concentración de las sales del agua de aportación se multiplica en la caldera por la relación entre el caudal de aportación y el de purgas.

Ejemplo:

La caldera de 35 at tiene un máximo admisible de sólidos disueltos de 2500 p.p.m. , y el agua de aportación es de 125 p.p.m. . Cada 100 lts. de agua de aportación

$$100 \cdot \text{lbs} \cdot 125 \cdot \text{ppm} = 2500 \cdot \text{ppm} \cdot X$$

$$\text{entonces } X = \frac{125}{2500} \cdot 100 = 5 \cdot \text{lbs de purga}$$

Por esta razón otra forma de expresar la purga es en porcentaje.

$$\% \text{purga} = \frac{C_1}{C_{2,\text{max}}} \cdot 100$$

$$\% \text{purga} = \frac{125}{2500} \cdot 100 = 5\%$$

Si el vapor se pierde totalmente y el problema se plantea no en m^3/h de agua de aportación, sino en *Toneladas T* de vapor que deben producirse por hora, deberá tenerse en cuenta :

$$Q_1 = T \cdot q$$

y entonces el factor de concentración se expresará por :

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{T + q}{q}$$

En la práctica el porcentaje de purga de una instalación dada viene limitado estrechamente por consideraciones económicas de explotación e inversión. Tratando de obtener un ahorro de energía, se tiende a reducir este porcentaje a unos valores cada vez mas bajos.

Si tenemos una caldera que el porcentaje teórico es el 5% de purga y el límite de sólidos disueltos es de 400 p.p.m., y nos encontramos que tiene 1200 p.p.m. con esa purga.(o sea 3 veces mas del máximo recomendado), deberemos multiplicar ese 5% por tres (3), o sea tendremos que aumentar las purgas al 15% para restablecer el sistema a los límites aconsejables.

Como se observa en los ejemplos anteriores con respecto a las purgas, éstas dependen tanto del máximo tolerable de sales disueltas en la caldera, como de la concentración de sales que *trae* el agua de aportación. Por lo tanto mejorando la *calidad* del agua de aportación podemos economizar combustible.

Ejemplo:

Ahorro por mejor tratamiento químico

Supongamos una caldera de 15 kg/cm^2 y una producción de vapor de 24000 kg/h . Con un retorno de condensado de 16000 kg/h . La salinidad del agua de aportación es de 1000 p.p.m. . Para la presión de trabajo y el tipo de caldera el máximo tolerable es de 3500 p.p.m.

$$\text{El agua de reposición será } Q_1 = 24000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 16000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 8000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

y la purga

$$q = \frac{Q_1 \cdot C_1}{C_2} = \frac{8000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1000 \cdot \text{ppm}}{3500 \cdot \text{ppm}} = 2286 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

La entalpía del agua de purga es de $i = 204 \text{ kcal/kg}$, por lo tanto las pérdidas de calor en las purgas serán de:

$$P_p = 2286 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 204 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 466285 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Si mediante un mejor tratamiento del agua reduzco la salinidad del agua de alimentación a 300 p.p.m. , las purgas y pérdidas de calor debidas a ellas serán ahora:

$$P_p = \frac{8000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 300 \cdot \text{ppm}}{3500 \cdot \text{ppm}} \cdot 204 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 139885.7 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Si hacemos el cálculo del ahorro de combustible, suponiendo que éste tiene un poder calorífico de (Pci) de 9600 kcal/h y que el rendimiento en la caldera (del aprovechamiento del calor) es de 0.85 tendremos:

$$\text{Ahorro}_{\text{comb}} = \frac{466285 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 139885.7 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0.85 \cdot 9600 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{comb}}}} = 40 \cdot \frac{\text{kg}_{\text{comb}}}{\text{h}}$$

$$\text{o sea} \quad 40 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 24 \cdot \frac{\text{h}}{\text{dia}} \cdot 30 \cdot \frac{\text{dia}}{\text{mes}} = 28800 \cdot \frac{\text{kg}_{\text{comb}}}{\text{mes}}$$

Este ahorro en el agregado de sales se consigue desde la selección de la fuente de agua para la caldera, los ensayos del floculante y su correcta dosificación para una buena coagulación y de los aditivos salinos agregados para evitar corrosiones e incrustaciones en las unidades.

Ahorro por producción de vapor flash

El vapor flash es vapor con las mismas características de un vapor vivo, y se forma cuando un condensado pasa de una determinada P_1 a otra P_2 inferior. La diferencia entre el calor sensible del condensado a P_1 y el calor sensible a la P_2 inferior será el exceso de calor. La cantidad de revaporización obtenida será el exceso de calor dividido el calor latente del vapor a la P_2 inferior.

La cantidad de revaporizado se puede obtener también fácilmente en tablas en función de la presión inicial y la presión final de este.

Ejemplo:

Recuperación del calor de purga.

Producción de vapor de la caldera
24000kg/h
 Presión de vapor **15 kg/cm²**
 Caudal de purga **450 kg/h**

Rendimiento de la caldera **h=0.85**
 Pci = **9600 kcal/kg**
 Presión del vapor flash **2 kg/cm²**

entalpía de condensado antes de la expansión **200 kcal/kg**
 entalpía de condensado después de la expansión **120 kcal/kg**
 Calor latente a la presión de expansión **526 kcal/kg**
 Por lo tanto la cantidad de vapor flash formado:

$$\text{cantidad de vapor flash} = \frac{200 - 120}{526} = 0.152 \cdot \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{kg}_{\text{purga}}}$$

$$\text{Total de vapor flash} = 0.152 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot 750 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 114 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Resto de condensado} = 750 - 114 = 636 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Si luego del tanque flash se vierte la purga a través de un intercambiador donde se lo enfría hasta los 40°C, la cantidad de calor perdido en la purga será :

$$640 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 40 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 25600 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Si no usamos el tanque flash, ni el intercambiador perderíamos:

$$750 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 200 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 150000 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Si sólo usamos el tanque flash sin intercambiador, perderemos:

$$640 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 120 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 76800 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El ahorro de combustible en el primer caso será:

$$\frac{150000 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 25600 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0.85 \cdot 9600 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 15.2 \cdot \frac{\text{kg}_{\text{FO}}}{\text{h}}$$

Y el ahorro en el segundo caso será:

$$\frac{150000 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 76800 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0.85 \cdot 9600 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 8.971 \cdot \frac{\text{kg}_{\text{FO}}}{\text{h}}$$

Mejoras ajustando la combustión de la relación estequiométrica

Supongamos que la caldera está funcionando constantemente para una demanda de vapor y en unas condiciones en que la relación aire - combustible está dentro de los límites correctos para el combustible utilizado. Se disminuye la relación aire - combustible ajustándola aún más, pero manteniéndola aún en los límites correctos, es decir en valores próximos los que producen el rendimiento máximo de la caldera.

Al disminuir dicha relación, si se disminuye el combustible también se disminuye el aire, y se producen menos gases, disminuyendo en la misma proporción en la que disminuye el aire. Al tener menos aire aumenta la cantidad de inquemados (**CO**), disminuye el contenido de **O₂** en los gases y el contenido de **CO₂** producido es menor, subiendo la opacidad, aunque al ser menor el volumen de gases, la concentración de **CO₂** en ellos aumenta. Al aumentar los inquemados el η de la combustión baja ligeramente. El η de la caldera aumenta al tener menos pérdidas en los gases por calor sensible. O sea que la disminución de las pérdidas por calor sensible prevalecen al aumento de las pérdidas por calor latente (inquemados). La temperatura de los gases baja al disminuir en la combustión la cantidad de combustible quemado (tener cuidado con los límites admisibles de contaminación de **CO** en la zona donde se produce el fenómeno).

$$\%O_2 = 5$$

$$\text{ppm CO} = 1000$$

$$\text{ppm CH} = 1000$$

$$\text{opacidad} = 30$$

$$\text{Temp. gases} = 200^\circ\text{C}$$

$$\text{Temp. amb.} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Pérdidas por inquemados} = \frac{21}{21 - \%O} \cdot \left\{ \frac{\text{ppm} \cdot \text{CO}}{3100} + \frac{\text{ppm} \cdot \text{CH}}{1000} + \frac{\text{Op}}{65} \right\}$$

$$\text{Pérdidas por inquemados} = \frac{21}{21 - 5} \cdot \left\{ \frac{1000}{3100} + \frac{1000}{1000} + \frac{30}{65} \right\} = 2.33\%$$

Las pérdidas en los gases para la diferencia de temperatura entre los gases y el ambiente, para 5% de **O₂** en los gases es de **8.6%**.

Otras pérdidas **3%**

Rendimiento de la combustión es

$$\eta_{\text{Combustión}} = \frac{9700 - 226.01}{9700} = 97.67\%$$

$$\eta_{\text{Caldera}} = 100\% - 2.33\% - 8.6\% - 3\% = 86.07\%$$

Después de la mejora tenemos

$$\%O_2 = 4$$

$$\text{ppmCO} = 1500$$

$$\text{ppmCH} = 1500$$

$$\% \text{de Opacidad} = 40$$

$$t^\circ \text{ gases} = 180^\circ\text{C}$$

$$t^\circ \text{ amb.} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{P.I.} = \frac{21}{21 - 4} \cdot \left\{ \frac{1500}{3100} + \frac{1500}{1000} + \frac{40}{65} \right\} = 3.2\%$$

Las pérdidas por calor sensible en los gases para una diferencia de temp. de 160°C y 4% de **O** en los gases es de **7.2 %**.

Otras pérdidas **3%**

$$\eta_{\text{Combustión}} = \frac{9700 - 310}{9700} = 96.8\%$$

$$\eta_{\text{Caldera}} = 100\% - 3.2\% - 7.2\% - 3\% = 86.6\%$$

Si tenemos un consumo de combustible de 2500 tn/año, el ahorro de combustible por ésta mejora en el rendimiento será:

$$100 \cdot \left(1 - \frac{86.07}{86.6} \right) = 0.62\%$$

$$\frac{0.62\% \cdot 2500 \cdot \frac{\text{tn}}{\text{año}}}{100} = 15.3 \cdot \frac{\text{tn}}{\text{año}}$$