

CÁLCULO DE ECONOMIZADOR PARA CALDERA EKE – 45/18

Ing. José M. Puentes Almeida¹, MSc. Juan Landa García²

1. Grupo Empresarial Agroindustrial de Matanzas, Carretera a Varadero, km 4 ^{1/2}, Matanzas CP 10400, Cuba.

2. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Carretera a Varadero, km 3 ^{1/2}, Matanzas, Cuba.

Resumen.

En el trabajo se muestra el cálculo del área de transferencia de calor requerida para el calentamiento del agua a alimentar a un generador de vapor tipo EKE – 45/18, obteniéndose que este equipo de transferencia de calor puede ser instalado en un área del conducto de gases existente antes del calentador de aire e incrementa la eficiencia del generador de vapor en 2.7 %, lográndose ahorros significativos de combustible (bagazo) y mejoras en el balance energético total del área.

Palabras claves: *economizador; generador de vapor; eficiencia; ahorro; área, diseño.*

Introducción:

El objetivo fundamental de un economizador es el de elevar la temperatura del agua con que se alimenta el generador de Vapor, a expensas de la temperatura de los gases de salida de este, lográndose con esto un aumento de la eficiencia de la caldera, lo cual conlleva a una disminución considerable en el consumo de combustible (bagazo). Esto se consigue transfiriendo el calor que llevan los gases de escape al agua que circula por dentro del economizador, de no utilizarse este calor se perdería a la atmósfera incrementando las pérdidas con los gases de escape. Este economizador forma parte del Generador de Vapor, y es instalado dentro de la propia caldera, antes del calentador de aire, en el sentido de movimiento de los gases, calentando solo el agua de alimentación de la caldera, por lo que es clasificado como un economizador individual.

El economizador ha sido calculado para ser instalado en una Caldera Alemana EKE, de 45 T/hora de generación nominal de vapor y 18 Kgf /cm² de presión de operación. Se utiliza para su instalación el espacio entre la última sección del haz de tubos y el calentador de aire.

El objetivo de este diseño es el de disminuir la temperatura de los gases de salida de estos generadores, la que oscila sobre los 250°C, originando esto un sobre consumo de combustible. Estos generadores por diseño del fabricante no poseen economizador.

Desarrollo.

Materiales y métodos.

Se realiza una nueva distribución de temperaturas (gráficos 1 y 2) de forma tal que la temperatura de los gases se mantenga dentro de los parámetros normados, y con esta se calculará la superficie de transferencia de calor necesaria en el economizador para obtener esta temperatura en los gases de salida del generador de vapor, para lo cual se seleccionan un grupo de datos requeridos que permiten establecer la caracterización del combustible a utilizar, el flujo de gases y aire requerido, la composición de los gases y sus propiedades físicas principales a utilizar en los cálculos.

DATOS:

1) W	(Humedad del bagazo) (%)	50
2) Temp. del bagazo	(°C)	30
3) a ^t	(Contenido máximo de ceniza en el bagazo) (%)	2.5
4) t _{ad}	(Temp. agua de alimentar del desaereador) (°C)	110
5) D _{aa}	(Flujo de agua de alimentar) (t/h)	52.5
6) D _t	(Generación de trabajo) (t/h)	50
7) D _n	(Generación nominal) (t/h)	45
8) t _{gs}	(Temperatura de los gases de salida) (°C)	220
9) T'	(Temperatura de los gases antes del economizador) (°C)	450
10) T''	(Temperatura de los gases después del economizador) (°C)	410
11) t _{af}	(Temperatura del aire frío) (°C)	25
12) t _{ac}	(Temperatura del aire de combustión) (°C)	220
13) Δα	(Coeficiente de infiltración de aire) (%)	0.2
14) α _h	(Coeficiente de exceso de aire en el horno) (%)	1.25
15) α _{sg}	(Coeficiente de exceso de aire salida del generador) (%)	1.45
16) P _{vs}	(Presión del vapor sobrecalentado) (kgf/cm ²)	17.5
17) T _{vs}	(Temperatura del vapor sobrecalentado) (°C)	320
18) P _{vd}	(Presión del vapor en el domo) (kgf/cm ²)	19
19) t' ₂	(Temperatura del agua antes del economizador) (°C)	120
20) t'' ₂	(Temperatura del agua después del economizador) (°C)	160
21) d	(Diámetro de los tubos del economizador) (mm)	32
22) S ₁	(Paso transversal de los tubos del economizador) (mm)	100
23) S ₂	(Paso longitudinal de los tubos del economizador) (mm)	800
24) O ₂	(Contenido de oxígeno) (%)	6
25) CO ₂	(Contenido de gases triatómicos) (%)	14
26) Composición elemental del bagazo:		
	Carbono C ^B	= 23.5 %
	Hidrogeno H ^B	= 3.25 %
	Oxigeno O ^B	= 22 %
	Ceniza A ^B	= 1.25 %
	Humedad W ^B	= 50 %

Elementos de diseño del economizador.

1-1) Cálculo del área efectiva de transferencia de calor del economizador (H_{ECO}) de acuerdo al calor total que se desea transferir.

Esta se determina a partir de la ecuación de Fourier o de diseño de los intercambiadores de calor, la cual relaciona el área con el calor total a transferir y el flujo de combustible utilizado:

$$Q_{te} = (K * \Delta T * H_{eco}) / B_C$$

Despejando se obtiene:

$$H_{eco} = (Q_{te} * B_c) / (K * \Delta_T); (m^2) \quad (1.1)$$

Donde:

H_{eco} = Área efectiva de transferencia de calor del economizador (m^2)

Q_{te} = Calor total transferido en el economizador (kJ/kg)

B_c = Consumo de combustible quemado (kg/s)

K = Coeficiente global de transferencia de calor (kW / m^2 K)

Δ_T = Diferencia media de temperatura entre los fluidos (K)

Calculando cada uno de los términos se tiene:

1-2) Cálculo de Q_{te} :

El error en el cálculo de calor (ΔQ_e) entre el calor total transferido (Q_{te}) y el calor por convección por el lado de la sustancia de trabajo (Q_{ce}) en el economizador debe ser inferior o igual al 2%, y la ecuación utilizada es:

$$\Delta Q_e = (1 - Q_{ce} / Q_{te}) * 100; (\%)$$

Despejando se obtiene:

$$Q_{te} = Q_{ce} / (1 - \Delta Q_e) \quad (1.2)$$

Donde el valor de error ΔQ_e se fijará en 1 % (0.01)

1-2-1) Cálculo de Q_{ce} :

El calor por convección por el lado de la sustancia de trabajo en el economizador (Q_{ce}) se determina por la siguiente ecuación:

$$Q_{ce} = (D_{aa} * \Delta_{i \text{ econ.}}) / B_c; (kJ/kg) \quad (1.3)$$

Donde:

D_{aa} = flujo de agua de alimentar (kg/s)

$\Delta_{i \text{ econ.}}$ = Incremento de entalpía del agua en el economizador. (kJ/kg)

B_c = Consumo de combustible quemado (kg/s)

1-2-1-1) Cálculo de D_{aa} :

$$D_{aa} = D_t + D_p ; (\text{kg/s})$$

Donde:

D_t = Generación de trabajo o flujo de vapor sobrecalentado (En este caso se tomará el valor máximo de generación de vapor posible por diseño) = 50 T/hora = 13.88 kg/s

D_p = Flujo de purgas:

$D_p = 0.05 * D_t = 0.694 \text{ kg/s}$. (Se toma el valor de un 5 % de pérdidas en purgas establecido como promedio en estos generadores de vapor)

Sustituyendo:

$$D_{aa} = 13.88 + 0.694$$

$$D_{aa} = 14.6 \text{ kg/s}.$$

1-2-1-2) Cálculo del $\Delta_{i \text{ econ.}}$:

Para $t'_{2} = 120^{\circ} \text{C}$ y $t''_{2} = 160^{\circ} \text{C}$, a una presión del agua de alimentar de 24 kgf/cm^2 ;

$$\Delta_{i \text{ econ.}} = i'_{e} - i''_{e}$$

$$\Delta_{i \text{ econ.}} = 676.5 - 505.36$$

$$\Delta_{i \text{ econ.}} = 171.14 \text{ kJ/kg}$$

La temperatura del agua a la salida del economizador debe ser al menos 30°C menor que la temperatura de saturación del agua dentro del domo con el fin de evitar cavitaciones en el economizador.

En este caso:

$$t'_{2} = 160^{\circ} \text{C} \text{ y } t_{\text{saturacion}} = 211.38^{\circ} \text{C}$$

$$; \Delta t = 51.3^{\circ} \text{C} \quad \Longrightarrow \quad \text{economizador no hirviente}$$

1-2-1-3) Cálculo de B_c :

$$B_c = B (1 - q_4 / 100); (\text{kg/s}) \quad (1.4)$$

Donde:

B = consumo de combustible (kg/s)

$$B = (Q_1 / (Q_d * \eta_B)) * 100 \quad (1.5)$$

Donde:

Q_1 = Calor útil (kcal/h)

Q_d = Calor disponible del combustible (kcal/kg)

η_B = eficiencia bruta del generador (%)

Q_d para una $W = 50 \%$ y una temperatura del combustible de aproximadamente 30°C ; el valor de $Q_d = 1851 \text{ kcal/kg}$ (Anexo 1)

$$\eta_B = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6$$

a) q_2 (pérdida de calor en los gases de escape)

$$q_2 = ((I_{gs} - \alpha_{sg} * I_{af}) / Q_d) * (100 - q_4) \quad (\%)$$

I_{gs} = entalpía de los gases productos de la combustión a la salida de la caldera, para una temperatura de los gases de salida de 220 °C, una W del bagazo de 50% y un $\alpha_{sg} = 1.45$; tenemos que $I_{gs} = 326$ kcal/kg. (Anexo 2)

I_{af} = entalpía del aire frío; para una temperatura del aire de 25°C es de 17.5 kcal/kg = 73.14 KJ/kg (*Software “Desk Top Air”*)

b) q_4 (pérdidas de calor por incombustión mecánica) (%)

Existen formulas para el calculo de q_4 que dependen de parámetros que normalmente son de difícil cuantificación; es por esto que se aceptan valores aproximados que conducen a resultados aceptables. Para el bagazo que combustiona en hornos de parrillas con alimentadores $q_4 = 0.5 - 5 \%$ (Pérez, 1972); por lo tanto, se aceptará:

$$q_4 = 3\%$$

Sustituyendo:

$$q_2 = ((326 - 1.45 * 17.5) / 1851) * (100 - 3) \quad (\%)$$

$$q_2 = 16 \%$$

c) q_3 (pérdida de calor por incombustión química) (%)

Para $O_2 = 6\%$ y $CO_2 = 14\%$;

$$q_3 = 2\%$$

d) q_5 (pérdidas calóricas por radiación al medio ambiente) (%)

$$q_5 = 1.5 \%$$

e) q_6 (pérdidas calóricas por residuos no volátiles) (%)

Si $a^t < 0.0025 * Q_{inf}^B$; entonces q_6 es despreciable:

a^t (contenido máximo de ceniza en el bagazo a una humedad de 50%) es de 2.5%.

Q_{inf}^B (valor calórico inferior del bagazo) es de 1830 kcal/kg

Por lo tanto $2.5 < 0.0025 * 1830 = 4.575$, por lo que

$$q_6 = 0$$

Sustituyendo:

$$\eta_B = 100 - 16 - 2 - 3 - 1.5 - 0$$

$$\eta_B = 77.5 \%$$

$$Q_1 = D_t(I_{v.sobrec.} - i'_{\text{'e}}) + D_p(I_{\text{purga}} - i'_{\text{'e}})$$

Donde:

D_t = generación de vapor de trabajo = 50 000 kg/h

$I_{v.sobrec.}$ = entalpía del vapor sobrecalentado = 734 kcal/kg. (Software “ChemicaLogic Steam Tab Companion”)

I_{purga} = entalpía del agua en la purga = 216 kcal/kg

D_p = flujo de purgas = 2 500 kg/h (para un 5% de extracciones en purgas)

Sustituyendo:

$$Q_1 = 50\,000 (734 - 161,6) + 2\,500 (216 - 161,6)$$

$$Q_1 = 28\,756\,000 \text{ kcal/h}$$

Sustituyendo en la ecuación (1.5):

$$B = (28\,756\,000 / (1\,851 \cdot 77.5)) \cdot 100$$

$$B = 5.56 \text{ kg/s}$$

Sustituyendo en la ecuación (1.4):

$$B_c = 5.56 (1 - 3 / 100)$$

$$B_c = 5.39 \text{ kg/s}$$

Sustituyendo en la ecuación (1.3):

$$Q_{ce} = (14.6 \cdot 171.14) / 5.39$$

$$Q_{ce} = 463.6 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo en la ecuación (1.2):

$$Q_{te} = 463.6 / (1 - 0.01)$$

$$Q_{te} = 468.3 \text{ kJ/kg}$$

1-3) Cálculo de K:

En el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se tiene en cuenta el tipo de combustible a quemar y la disposición de los tubos en el economizador. En este caso

es un combustible sólido (bagazo) y la disposición de los tubos en el economizador es en filas o alineado. La ecuación entonces sería:

$$K = \Psi * \alpha_1 * 10^{-3}; \text{ (kW/m}^2 \text{ K)} \quad (1.6)$$

Donde:

Ψ = Coeficiente de efectividad térmica para quemado de combustible sólido. Para el bagazo es 0.6. (Tanquero N. *et al.*, 1987), Página 197.

α_1 = Coeficiente de transferencia de calor por el lado de los gases.

1-3-1) Cálculo de α_1 :

$$\alpha_1 = e_{ut} (\alpha_c + \alpha_r); \text{ (W/m}^2 \text{ K)} \quad (1.7)$$

Donde:

e_{ut} = coeficiente de utilización; se determina a partir de la velocidad de los gases (W_g).

α_c = coeficiente de transferencia de calor por convección por el lado de los gases (W/ m² K)

α_r = coeficiente de transferencia de calor por radiación para flujos de gases con cenizas (W/ m² K)

1-3-1-1) Cálculo de e_{ut} :

$$W_g = (B_c * V_g * T_{media}) / (273 * F_g); \text{ (m/s)} \quad (1.8)$$

Donde:

V_g = Volumen real de los gases; (m³/kg)

T_{media} = temperatura media de los productos de la combustión (K)

F_g = Sección transversal para el paso de los gases (m²)

$$V_g = V_{gs} + V_{H_2O} \quad (1.9)$$

V_{gs} = Volumen real de los gases secos (m³/kg)

$V_{gs} = (1,86 * (C^B + 0.375 S^B)) / (RO_2 + CO)$.

$V_{gs} = (1,86 * (23.5)) / (14 + 0.46)$

$V_{gs} = 3 \text{ m}^3/\text{kg}$

V_{H_2O} = Volumen real de vapor de agua (m³/kg)

$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + (0.0161 * (\alpha - 1) * V_{aire}^o)$ (Subbotin, 1984)

$V_{H_2O} = 1.016 + (0.0161 * (0.45) * 2.220)$

$V_{H_2O} = 1 \text{ m}^3/\text{kg}$

Sustituyendo en ecuación (1.9):

$$V_g = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_{\text{media}} = (T' + T'') / 2$$

$T' = \text{Temp. de los gases a la entrada del economizador} = 450^\circ\text{C} = 723 \text{ K}$

$T'' = \text{Temperatura de los gases a la salida del economizador} = 410^\circ\text{C} = 683 \text{ K}$

Por lo tanto $T_{\text{media}} = 703 \text{ K}$

$$F_g = (h_c * b_c - h_p * b_p) + (h_p * b_p - d * L * Z_1)$$

Donde:

$h_c = \text{altura del conducto existente} \text{-----} 1,470 \text{ m}$
 $b_c = \text{ancho del conducto existente} \text{-----} 7,300 \text{ m}$
 $h_p = \text{altura permisible del paquete} \text{-----} 0,760 \text{ m}$
 $b_p = \text{ancho permisible del paquete} \text{-----} 5,700 \text{ m}$
 $d = \text{diámetro exterior de los tubos a utilizar} \text{-----} 0,032 \text{ m}$
 $L = \text{longitud de los tubos} \text{-----} 5,700 \text{ m}$
 $Z_1 = \text{número de tubos en una fila} \text{-----} 10$

(Ver Anexos Fig. 1)

Sustituyendo:

$$F_g = (1,470 * 7.3 - 0.76 * 5.7) + (0.76 * 5.7 - 0.032 * 5.7 * 10)$$

$$F_g = 8.91 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en ecuación (1.8):

$$W_g = (B_c * V_g * T_{\text{media}}) / (273 * F_g)$$

$$W_g = 6 \text{ m/s.}$$

La velocidad de los gases obtenida se encuentra dentro del rango establecido para estos tipos de generadores (5 a 15 m/s); con el valor de W_g se determina el valor de $e_{\text{ut}} = 0.850$ (Tanquero N. *et al.*, 1987), Página 199.

1-3-1-2) Cálculo de α_c :

$$\alpha_c = \alpha_N * C_z * C_s * C_f ; (W/ \text{m}^2 \text{ K})$$

Donde:

$\alpha_N = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección, hallado en nomogramas} = 60 \text{ W/ m}^2 \text{ K.}$

$C_z = \text{coeficiente de corrección al número de filas transversales. Este se halla teniendo en cuenta la disposición de los tubos en nomogramas, } C_z = 1$

C_s = Coeficiente de corrección a la composición del paquete, se halla en nomogramas, $C_s = 1$

C_f = Coeficiente de corrección por variación de las propiedades físicas del fluido, se halla en nomogramas a partir de la velocidad de los gases (W_g) y la fracción de vapor de agua ($r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_g = 1 / 4 = 0.25$), el valor es de 1.15

Los valores de los coeficientes anteriores se hallan en la Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor (Tanquero N. *et al.*, 1987) , Página 207.

Sustituyendo:

$$\alpha_c = 60 * 1 * 1 * 1,15$$

$$\alpha_c = 69 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

1-3-1-3) Cálculo de α_r :

$$\alpha_r = \alpha_n * a \text{ ; (W/ m}^2 \text{ K)}$$

Donde:

α_n = coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/ m² K); se determina en nomogramas con T_{media} (703 K) y $T_{media \text{ pared}}$

$$T_{media \text{ pared}} = T_{media \text{ st}} + 60. \text{ (Tanquero N. } et al., 1987) \text{ , Página 247}$$

$T_{media \text{ st}}$ = temperatura media de la sustancia de trabajo (K)

$$T_{media \text{ st}} = (393 + 433) / 2 = 413 \text{ K}$$

$$\text{Por lo tanto } T_{media \text{ pared}} = 473 \text{ K}$$

Entonces por nomogramas $\alpha_n = 45 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$

a = emisividad de los gases. Se determina por nomograma (Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor, Página 68, Fig 4.4) con el producto:

$$K_s * P * S$$

Donde:

P = Presión de los productos de la combustión (MPa) = 0.09803 MPa

S = Espesor efectivo del volumen de gases radiantes (M) = 0.257 M

K_s = coeficiente de atenuamiento de los productos de la combustión.

$$K_s = K_g * r_g + K_{cen} * \mu_c \text{ ; (1/m*MPa)}$$

$B_B K_g = 30 \text{ 1/m*MPa}$ (coeficiente de atenuamiento de los gases triatómicos, se halla en nomogramas) (Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor, Página 83, Fig 4.7)

rg = fracción volumétrica de los gases triatómicos y el vapor de agua:

$$rg = r_{H_2O} + r_{RO_2} = 0.25 + 0.1095$$

$$rg = 0.3595$$

$K_{cen} = 0.00075 \text{ 1/m*MPa}$ (coeficiente de atenuamiento de las cenizas, se halla por nomogramas con T_{media}) (Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor, Página 87, Fig 4.8)

μ_c = concentración de partículas de cenizas en los productos de la combustión (kg/kg):

$$\mu_c = A^t * a_{rr} * 100 * G_g$$

Donde:

A^t = concentración gravimétrica de trabajo de la ceniza en el combustible sólido (bagazo) = 1.250 %

a_{rr} = coeficiente de arrastre de ceniza con los gases = 0.5.

$$V_{aire}^o = A * (Q_{inf}^B + 6W^B) / 1000$$

Donde:

$A = 1.05$ (Para el bagazo y para la madera)

Por lo tanto:

$$V_{aire}^o = 1.92 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

G_g = masa de los gases en los productos de la combustión (kg/kg):

$$G_g = 1 - (A^t / 100) + (1.327 * \alpha_{media} * V_a^o) = 5.26 \text{ kg/kg}$$

Sustituyendo $\mu_c = 328.75 \text{ kg/kg}$

Sustituyendo $K_s = 11 \text{ 1/m*MPa}$

Con el producto $K * P * S = 0.2771$; buscamos en nomograma (Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor, Página 68, Fig. 4.4) el valor de $a = 0.28$

Con este sustituye y se halla $\alpha_r = 12.6 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$

Sustituyendo en la ecuación (1.7), se obtiene $\alpha_1 = 69.36 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$

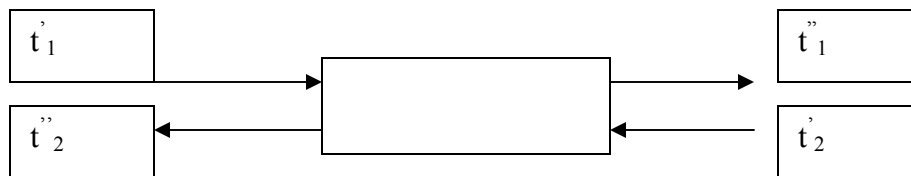
Sustituyendo en la ecuación (1.6):

$$K = 0.6 * 69.36 * 10^{-3}$$

$$K = 0.041616 \text{ kW / m}^2 \text{ K}$$

1-4) Cálculo del Δ_T :

El movimiento de fluidos en este caso es a contracorriente por la posición en que debe quedar instalado el economizador con relación al flujo de los gases. Por lo tanto:



t_1 = fluido caliente (gases)

t_2 = fluido frío (agua)

$$\Delta t_{\text{mayor}} = t'_{1} - t''_{2} = 450 - 160 = 290 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{menor}} = t''_{1} - t'_{2} = 410 - 120 = 290 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$\Delta t_{\text{mayor}} / \Delta t_{\text{menor}} = 1 < 1.5$; por lo tanto el cálculo de Δ_T puede ser efectuado como:

$$\Delta_T = t_{1 \text{ media}} - t_{2 \text{ media}}$$

$t_{1 \text{ media}}$ = temperatura media del fluido caliente

$$t_{1 \text{ media}} = (450 + 410) / 2 = 430 \text{ }^{\circ}\text{C} = 703.15 \text{ K}$$

$t_{2 \text{ media}}$ = temperatura media del fluido frío

$$t_{2 \text{ media}} = (120 + 160) / 2 = 140 \text{ }^{\circ}\text{C} = 413.15 \text{ K}$$

Sustituyendo: $\Delta_T = 290 \text{ K}$

Sustituyendo en la ecuación (1.1):

$$H_{\text{eco}} = 211 \text{ m}^2$$

Esta superficie de transferencia de calor (211 m^2) es la que se necesita para recuperar de los gases de escape la energía que se pierde a la atmósfera sin el empleo de este economizador para las condiciones de recuperación fijadas, utilizándose ahora para aumentar la temperatura del agua de alimentar, trayendo esto como consecuencia un aumento de la eficiencia del Generador de Vapor y por consiguiente un ahorro considerable de combustible.

La eficiencia del generador aumenta entonces en un 2.7 %; o sea, de un 77,1% que tiene con las condiciones actuales de temperaturas del agua de alimentar ($120 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y gases de salida ($250 \text{ }^{\circ}\text{C}$), crecerá a un 79,8%, esto permitirá ahorrar 2.38 t/h de bagazo. (Software “Cálculo de Eficiencia de Generadores de Vapor”)

2) Resultados:

2-1) Incremento de la temperatura del agua de alimentar:

Se obtiene un aumento en la temperatura del agua de alimentar de $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que ésta entra en la caldera a 160°C , estando aproximadamente a $51 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por debajo de la

temperatura de saturación correspondiente a la presión en el domo, con lo cual se evita posible formaciones de bolsas de vapor y golpes hidráulicos en el economizador

2-2) Incremento de la eficiencia del generador:

Como se ha dicho anteriormente la eficiencia del generador trabajando con el economizador aumenta un 2.7%

2-3) Pérdidas de tiro:

Las pérdidas de tiro que introduce este tipo de economizador oscila entre 5 y 6 mm de columna de agua, lo cual no representa ningún tipo de riesgo dada la capacidad de reserva que tiene el ventilador de tiro inducido que se utiliza.

2-4) Superficie a instalar:

La superficie necesaria que arrojan los cálculos es de 211 m², y el espacio existente en el generador es suficiente para la instalación del economizador, quedando también espacio suficiente para su limpieza y mantenimiento.

2-5) Pérdidas hidráulicas:

La caída de presión del agua al circular por el sistema propuesto es de 0.14 kgf/cm², la cual se asimila perfectamente con la bomba de alimentar caldera instalada. La velocidad del fluido dentro del economizador es de 0.7 m/s, enmarcándose dentro de los rangos establecidos para este tipo de economizador no hirviente (mayor de 0.5 a 0.6 m/s) para evitar la corrosión por presencia de O₂ y la separación de la mezcla.

2-6) Consumo de combustible:

El consumo de bagazo disminuye lo que posibilita un excedente para almacenaje de 57.12 T/día equivalente a 5 712 T/zafra para una zafra de 100 días. Lo que equivaldría a unos 6 800 barriles de petróleo, que a un valor promedio de \$ 70.00 dólares el barril significarían un ahorro de \$ 476 000 en ese periodo.

2-7) Costo de la instalación:

El costo de esta instalación a los precios que existían en el mercado en el año 1987 fue:

Costo del economizador con sus accesorios-----	\$ 11 982.00
Costo de la mano de Obra-----	\$ 2 021.40
Costo total-----	\$ 14 003.40

Este economizador se instaló en el año 1986 en la caldera # 1 del área de Generación de Vapor del Central España Republicana, dando los resultados esperados.

Conclusiones.

Las calderas tipo EKE – 45/18 admiten por sus características constructivas la instalación de un economizador tubular, lo que permite incrementar su eficiencia operacional y

económica contribuyendo a una mayor sostenibilidad de la producción de vapor en la fábricas de azúcar.

El área de transferencia de calor a instalar que permite una recuperación adecuada de la energía perdida con los gases de escape de la combustión y garantiza una operación segura del generador de vapor es de 211 m².

Recomendaciones.

Instalar economizadores en otras calderas de vapor EKE – 45/18 por los resultados satisfactorios obtenidos durante su explotación.

Bibliografía:

Koposhin *et al.*, 1985, *Nomogramas para el cálculo térmico y aéreo dinámico de los Generadores de Vapor*.

Lipov, I. M., 1975, *Cálculo de los Generadores de Vapor (Cálculo Térmico)*, Editorial Energía, Moscú, URSS.

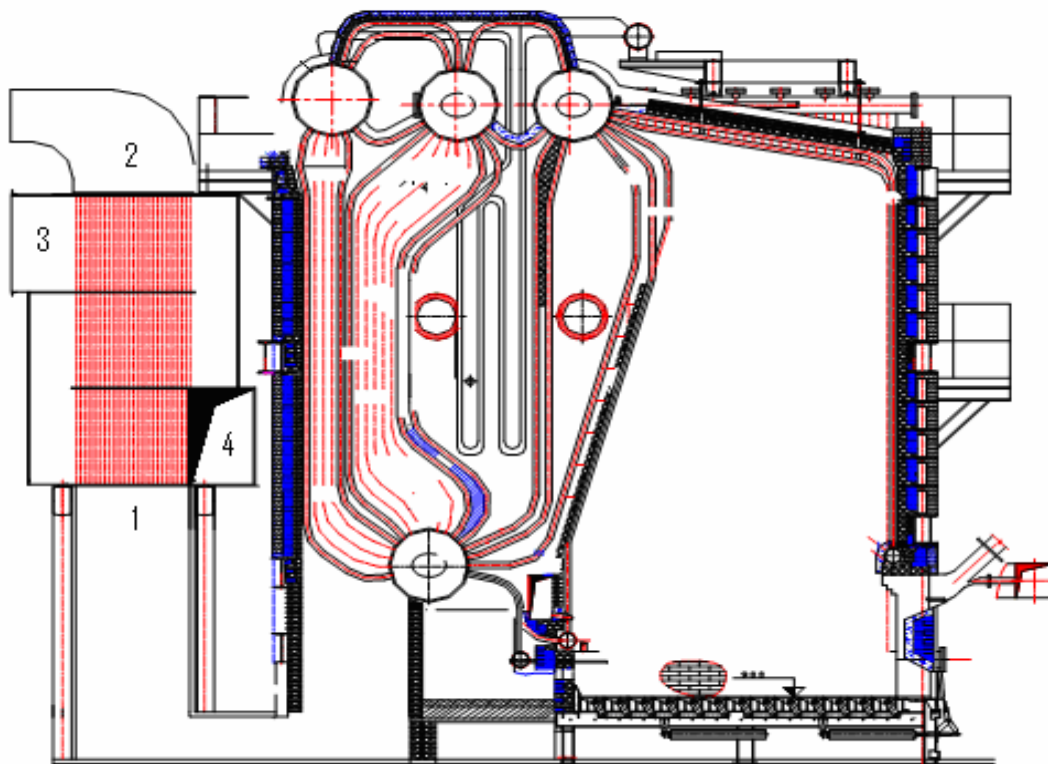
Pérez, L., 1972, *Generadores de Vapor*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.

Reznikov *et al.*, 1981, *Generadores de Vapor de Centrales Termoeléctricas*, Editorial Mir, Moscú, URSS.

Tanquero N. *et al.*, 1987, *Guía metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor*, Editorial ISPJAE, La Habana, Cuba.

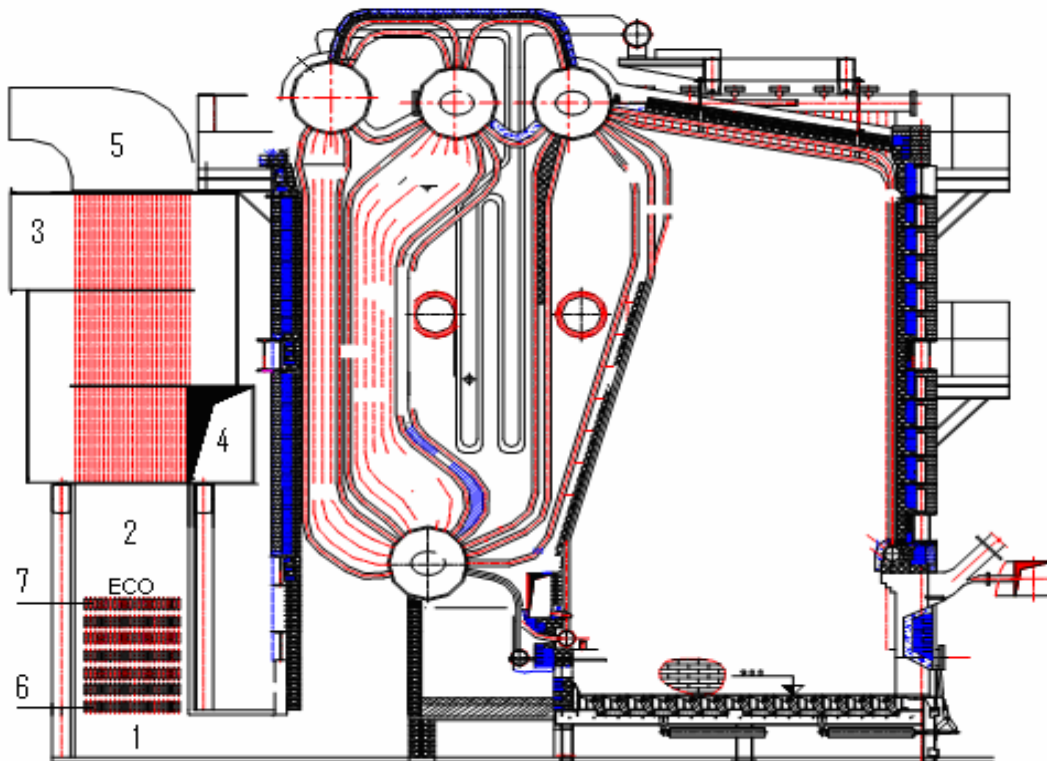
Vladimir Subbotin, 1984, *Conferencias de Generadores de Vapor*, Folleto, Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

Distribución de Temperaturas sin economizador (Gráfico 1)



- | | |
|--|--------|
| 1 – Gases antes del calentador de aire ----- | 450 °C |
| 2 – Gases después del calentador de aire ----- | 250 °C |
| 3 – Aire frío al calentador de aire ----- | 25 °C |
| 4 – Aire caliente al horno ----- | 220 °C |

Distribución de Temperaturas con economizador (Gráfico 2)



1 – Gases antes del economizador	450 °C
2 – Gases después del economizador	410 °C
3 – Aire frío a calentador de aire	25 °C
4 – Aire caliente al horno	220 °C
5 – Gases después del calentador de aire	220 °C
6 – Agua antes del economizador	120 °C
7 – Agua después del economizador	160 °C

Anexos:

Anexo 1. Calor disponible (Qd) en el combustible bagazo, a diferentes humedades y temperaturas (Kcal/Kg):

Humedad % → Temp. °C ↓	48	49	50	51	52	53	54
25	1944	1896	1847	1799	1750	1702	1654
30	1947	1899	1851	1802	1754	1705	1657
35	1950	1902	1854	1806	1757	1709	1660
40	1954	1906	1857	1809	1761	1712	1664
45	1957	1909	1861	1812	1764	1716	1667
50	1960	1912	1864	1816	1767	1719	1671

$$Qd = Q_{inf}^B + Q_{c.f}$$

Donde:

Q_{inf}^B = valor calórico inferior de la unidad de masa bruta del combustible (Kcal/Kg)

$Q_{c.f}$ = calor físico del combustible al entrar al horno (Kcal/Kg)

Anexo 2. Entalpía de los gases de salida de las calderas según temperaturas de los gases de salida (°C), coeficientes de exceso de aire a la salida (%) y humedades del bagazo (%) más comunes.

Humedad % →	49				50				51			
Temp. °C →	200	220	240	250	200	220	240	250	200	220	240	250
α_{sg}												
1.20	264	290	317	343	259	284	309	333	260	286	312	337
1.25	271	299	326	353	266	291	317	342	266	293	320	346
1.30	278	306	334	362	275	302	330	357	273	301	328	356
1.35	286	314	343	372	282	310	338	367	278	306	334	361
1.40	293	322	352	381	289	318	347	376	285	313	342	371
1.45	300	330	360	390	296	326	355	385	292	321	350	380
1.50	308	338	369	400	303	334	364	394	299	329	359	389
1.55	315	346	378	409	310	341	372	403	306	336	367	398
1.60	322	354	386	419	317	349	381	413	313	344	375	407
1.65	329	362	395	428	324	357	389	422	320	352	384	416
1.70	336	370	404	437	332	365	398	431	327	359	392	425
1.75	347	381	416	451	339	372	406	440	334	367	400	434
1.80	353	388	423	458	346	380	415	449	341	375	409	443
1.85	358	394	430	466	353	388	423	459	347	382	417	452
1.90	367	404	440	477	360	396	432	468	354	390	425	461

$$I_{gs} = (V_{CO_2} * C_{CO_2} + V_{SO_2} * C_{SO_2} + V_{N_2} * C_{N_2} + V_{H_2O} * C_{H_2O} + V_{O_2} * C_{O_2}) * t_{gs}$$

Donde:

V_{CO_2} , V_{SO_2} , V_{N_2} , V_{H_2O} , V_{O_2} ; son los volúmenes de los productos de la combustión (m³/Kg)

C_{CO_2} , C_{SO_2} , C_{N_2} , C_{H_2O} , C_{O_2} ; son los calores específicos de los distintos componentes (Kcal/m³ °C)

t_{gs} = temperatura de los gases de salida (°C)

Anexo 3.

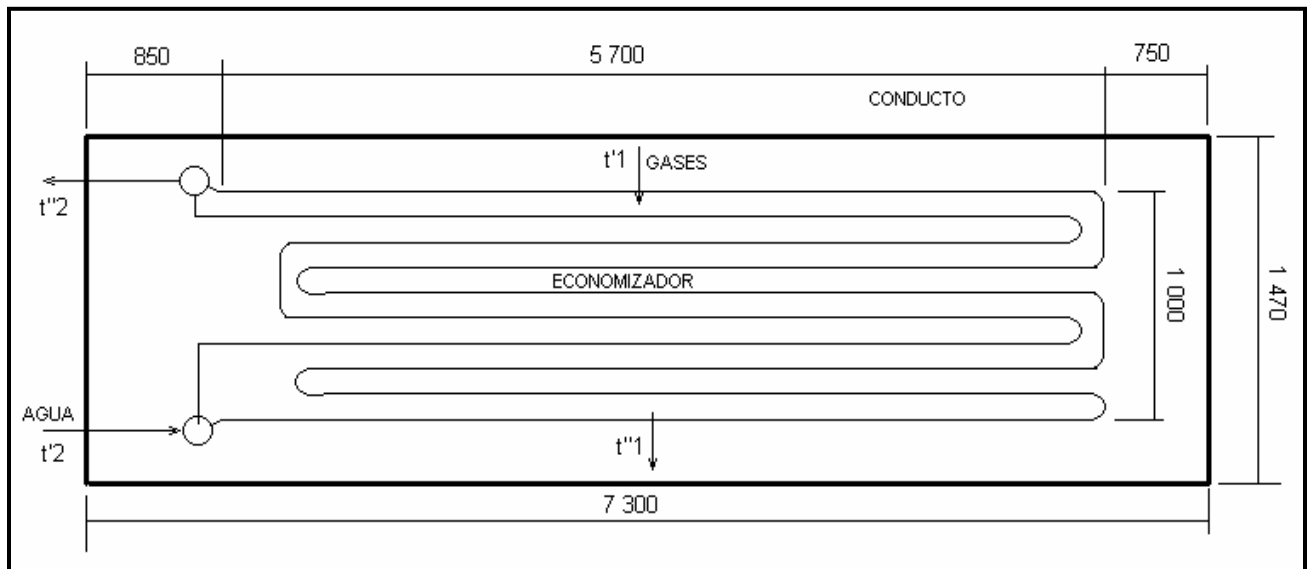


Figura 1. Esquema del economizador y su disposición en el conducto