

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA RECUPERACIÓN DE CALORES RESIDUALES EN LA EMPRESA MANUFACTURAS CAROLINA S.A.

RESUMEN

En este artículo se presentan las metodologías de cálculo y diagnóstico para la evaluación de pérdidas y calores residuales, así como del potencial térmico disponible para recuperar éstos en la empresa Manufacturas Carolina S.A. Los potenciales de ahorro y de impacto ambiental también son presentados en este trabajo.

PALABRAS CLAVES: Calores residuales, Eficiencia energética.

ABSTRACT

In this paper the calculus and diagnosis methodologies in order to evaluate the losses and residual heats as well as the available thermal potential in Manufacturas Carolina S.A. are presented. The potentials of saving and environmental impact also are presented in this work.

KEYWORDS: residual heats, Energetic Efficiency

ÁLVARO HERNÁN RESTREPO V.

Ingeniero Mecánico, MSc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
arestrep@utp.edu.co

JUAN CARLOS BURBANO J.

Ingeniero Mecánico, MSc.
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
jurbano@utp.edu.co

YAMID A. CARRANZA S.

Ingeniero Mecánico, MSc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
yamidc@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El incremento continuo de la demanda de energía asociado al desarrollo socioeconómico, las restricciones financieras para ampliar la oferta energética, la necesidad de lograr una mayor competitividad internacional y de atenuar el impacto ambiental de las tecnologías energéticas, fundamentan la importancia que tiene hoy en día el mejoramiento de la eficiencia energética de cualquier proceso.

La factibilidad técnico-económica de recuperar los calores residuales presentes en la empresa Manufacturas Carolina S. A. representa a la fecha un problema aún no resuelto y que limita poder explotar esta vía para el incremento de eficiencia energética del sistema de generación y distribución de vapor de la empresa.

Por calor residual se entiende todo aquella pérdida de energía que se libera como desecho al medio ambiente desde equipos industriales como intercambiadores de calor y sistemas de distribución del mismo.

Para el caso de manufacturas carolina las pérdidas de calor sensible con los gases de salida de la caldera, la no recuperación de la totalidad de los condensados del sistema de vapor y los desechos del baño de teñido del área de tintorería, constituyen los principales potenciales en cuanto a recuperación de calores residuales.

2. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE LA EMPRESA MANUFACTURAS CAROLINA S. A.

La Empresa Manufacturas Carolina S. A. es una fábrica textil, ubicada en el km. 4 vía Ibagué - Bogotá, que desarrolla el proceso de producción de prendas de vestir. La Figura 1 ilustra el diagrama de flujo que sigue el producto.

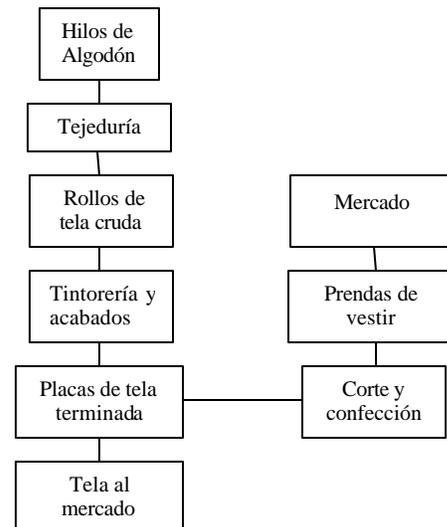


Figura 1. Diagrama de flujo del producto.

El proceso de producción se inicia en la sección de tejeduría; donde se fabrica la tela a partir de hilo de algodón, que viene enrollado en tubinos desde empresas de la región como Fibratolima y Texpinal.

La tela llamada “tela cruda”, pasa a la sección de tintorería y acabados donde seis máquinas (barcas) tiñen la tela siguiendo una curva de teñido (temperatura - tiempo) para obtener el color deseado.

Posteriormente a la tela tinturada se le da el acabado final con lo cual se obtiene un adecuado nivel de estabilidad dimensional y un excelente aspecto al tejido.

La tela terminada pasa luego al área de manufacturas de la planta, donde se realiza el corte y la confección.

Finalmente las prendas son distribuidas en los diferentes puntos de venta de la ciudad, transportadas a otras ciudades del país o enviadas según pedidos al exterior.

2.1 Descripción del área de tintorería y acabados de la empresa

La sección de tintorería y acabados, constituye el área de principal interés en el presente estudio. Esta área tiene una capacidad de producción de 120 toneladas de tela por mes. En las máquinas allí instaladas se concentran las principales posibilidades de recuperación de calores residuales además, se consumen grandes volúmenes de portadores energéticos como son: Agua caliente, Vapor saturado, Aire comprimido y Energía eléctrica.

Sistema de generación de vapor. La generación de vapor es llevada a cabo por una caldera pirotubular de 200 BHP marca Master DISTRAL S.A. modelo 3 VBS que utiliza como combustible fuel oil (combustóleo) y que tiene un consumo nominal de 54.36 gal/h, con una producción nominal de vapor de 6900 lbm/h a 212 °F (52.16 kg/s a 100 °C), a una presión de 142 psig. Ver figura 2.

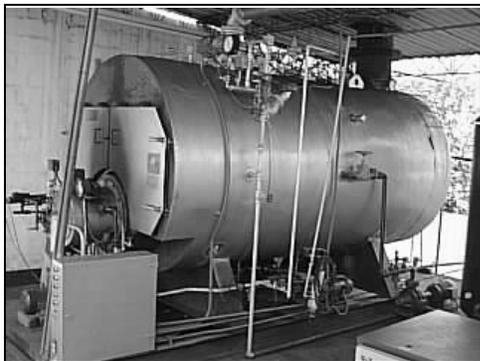


Figura 2. Caldera pirotubular instalada en la empresa.

Esquema térmico de distribución de vapor. Éste esquema se ilustra en la Figura 3. El suministro de vapor de la fábrica está orientado hacia el área de tintorería y acabados, donde las máquinas que requieren vapor son:

- Las Barcas Abiertas (1-2-3) para el Teñido en caliente de tela de color blanco.
- La Barca Cerrada (4) para el Teñido en caliente de tela de color blanco.
- Las Barcas Cerradas (5-6) para el Teñido en caliente en distintos colores.
- La Secadora de lecho fluidizado para el secado de tela tinturada con aire caliente
- La Calandra de Compactación para el planchado de la tela seca mediante cilindros de acero a alta temperatura.

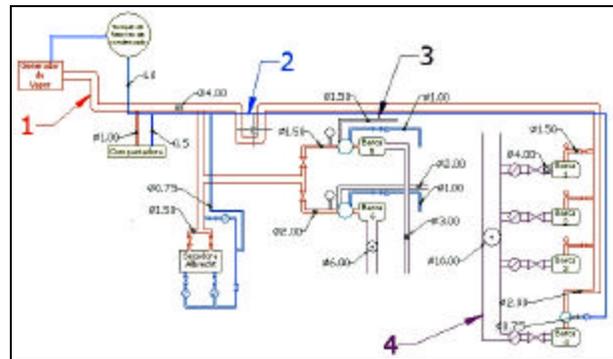


Figura 3. Esquema térmico de generación y uso del vapor para el área de tintorería.

Se observa que, de los equipos que utilizan vapor, se recupera el condensado de la secadora, la compactadora y la barca cuatro, que se envían por la línea de retornos con el fin de calentar el agua de alimentación de la caldera, Pero se desechan los condensados de los intercambiadores de superficie de las barcas cinco y seis que pueden ser recuperados.

Los principales procesos que se realizan en el área de tintorería y acabados son: El teñido, La hidroextracción, el secado y el planchado.

La tabla 1 y la figura 4 muestran las características operativas de las 6 barcas de tintorería.

Barca Tipo	Capacidad de Agua (Its)	Cantidad Tela (kg)	Consumo de Vapor (kg/h)
Abierta	3000	300	344.1
Abierta	2000	200	281.6
Abierta	2000	200	281.6
Cerrada	2000	190	307.5
Cerrada	1300	200	334.3
Cerrada	2400	400	387.6

Tabla 1. Consumos de las barcas de tinturado.

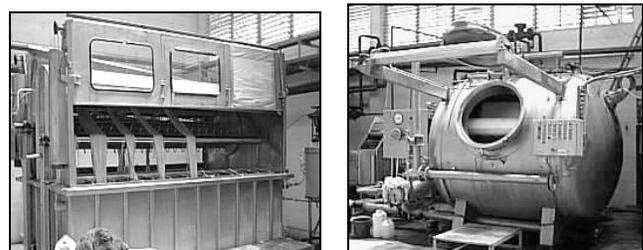


Figura 4. Aspectos de una barca abierta y una cerrada

Para el proceso final de secado y planchado el consumo de vapor nominal es de (460 kg/h)

3. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO Y DIAGNÓSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS Y CALORES RESIDUALES. [1], [2]

Para la evaluación de las posibilidades de ahorro se hace necesario realizar los cálculos de evaluación energética del sistema de generación y distribución de vapor.

3.1 Metodología de cálculo de la eficiencia en generadores de vapor.

La tabla 2 muestra los dos métodos empleados para determinar la eficiencia de un generador de vapor y que están aprobados por el código ASME (The American Society of Mechanical Engineers) [7]

Método	Eficiencia	
Directo	$h_{gvd} = \left(\frac{Q_u}{Q_d} \right) \cdot 100$	Q_u : Calor útil Q_d : Calor disponible
Indirecto	$h_{gvi} = 100 - \sum Q_p$	Q_p : Calor de pérdidas Perdidas por gases de combustión. Perdidas por la humedad en el combustible. Perdidas por formación de CO. Perdidas por la combustión del hidrógeno.

Tabla 2. Métodos ASME. Eficiencia en calderas

3.2 Diagnóstico energético en aislamientos térmicos y en fugas de vapor.

Los propósitos generales son:

- Establecer potenciales de ahorro.
- Recomendar modificaciones técnicas y económicamente viables que permitan mejorar la eficiencia en los aislamientos térmicos industriales y la reducción o eliminación de fugas de vapor.

3.3 Metodología para el diseño de economizadores y recuperadores de calor. [3]

El análisis térmico es la base del cálculo del intercambiador gases - agua pues se logra definir la geometría del economizador y la cantidad máxima de agua a calentar.

La temperatura del agua a la salida del recuperador se asume según las necesidades del proceso.

Calor absorbido por el agua (Q_{aa})

$$Q_{aa} = Q_b \cdot m_v \quad [kJ / s] \quad (1)$$

Donde: (Q_b) : Calor por balance de energía .

$$Q_b = (h'_{g_{econ}} - h''_{g_{econ}}) \cdot j \quad [kJ / s] \quad (2)$$

Entalpía de los gases a la entrada ($h'_{g_{econ}}$)

Entalpía de los gases a la salida ($h''_{g_{econ}}$)

Se busca con la nueva temperatura de salida de los gases y se comprueba que éste valor sea inferior de 200 °C para evitar problemas de condensación.

4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL POTENCIAL TÉRMICO DISPONIBLE PARA RECUPERAR LOS CALORES RESIDUALES. [6], [7]

Aunque la línea de proceso del área de tintorería y acabados carece de la instrumentación completa para recoger la totalidad de los datos y, los instrumentos existentes están dispuestos en función de los objetivos de la producción se logró, obtener los datos recurriendo a la información de fabricantes, medidas experimentales y estimaciones del personal de operación.

Balance de agua. La necesidad de agua en la planta se centra en suministrar el agua de alimentación de la caldera (1284 kg H₂O/h) y el agua para los baños de teñido de las barcas, que para un promedio de producción de tres teñidos por día equivaldría a (625 kg H₂O/h).

Balance de vapor. La necesidad de vapor de la planta no se conoce y se calcula en el presente estudio; dicha demanda de vapor radica en los equipos consumidores del área de tintorería y acabados. Para la secadora y la compactadora los consumos máximos de vapor son suministrados por el fabricante. Pero para las barcas de teñido los consumos máximos, se calcularon durante las elevaciones de temperatura, ya que durante los sostenimientos de temperatura, la cantidad de vapor que se inyecta es menor y se hace en forma periódica.

La ecuación para definir consumos en las máquinas es:

$$Q_n = Q_a + Q_t = Ma \cdot Cpa \cdot \Delta ta + Mt \cdot Cpt \cdot \Delta tt = Mv \cdot (h_v - h_i) \quad (3)$$

De esta ecuación se deduce la masa de vapor en kg que se requiere para una elevación de temperatura; y con el tiempo que dura el calentamiento se tiene que:

$$m_v = Mv / t \quad (\text{kg vapor/h}). \quad (4)$$

Donde:

Qn: calor total para la elevación de temperatura en kJ.

Qa y Qt: calor para calentar el agua y la tela en kJ.

Ma y Mt: masa de agua y de tela a calentar en kg

Cpa y Cpt: calor específico del agua y tela en kJ / kg °C

Δta y Δtt : elevación de temperatura de agua y tela en °C

h_v : entalpía del vapor saturado a 100 psi en kJ / kg

h_l : entalpía del liquido saturado a 14,7 psi en kJ / kg

Mv: masa de vapor en kg

t : tiempo del calentamiento en horas.

mv : flujo de vapor en kg / h.

Máquina	Consumo máximo	Factor de empleo	Consumo promedio
Secadora	360	0,6	216
Compactadora	100	0,6	60
Barca abierta No1	344,14	0,45	154,863
Barca abierta No2	270,65	0,45	121,7925
Barca abierta No3	281,64	0,45	126,738

Barca cerrada No4	307,26	0,45	138,267
Barca cerrada No5	334,29	0,6	200,574
Barca cerrada No6	387,66	0,6	232,596
	2385,64		1250,8305
	Consumo pico del vapor		Demanda promedio total

Tabla 3. Demanda de vapor medida experimentalmente.

- El análisis de consumo de las máquinas, teniendo en cuenta el factor de empleo es de 1250.8 kg/h como demanda promedio, valor que esta acorde con la producción de vapor medida en la caldera que es de 1284 kg/h.
- Y sí se valora el consumo máximo de vapor, trabajando todos los equipos simultáneamente, es de 2385 kg/h que resulta inferior a la máxima producción de vapor de la caldera que es 3129 kg/h.

Balance de Condensados. Para determinar la cantidad de condensados que se presentan en la planta, se realizaron mediciones experimentales del caudal de los mismos. Los resultados obtenidos son:

- La cantidad de condensado que se recupera actualmente y se envía al tanque de alimentación de la caldera, se estimó que es de 420 kg_{H2O} /h.
- La cantidad de condensado que se desecha actualmente, se estimó en 453 kg_{H2O} /h.
- La cantidad de agua de enfriamiento, desechada de los intercambiadores de superficie de las barcas de teñido, se estimó en 5670 kg_{H2O} /hora /h.
- Y Los baños con tintes y aditivos químicos, desechados de las barca de teñido, equivalen a 6480 kg_{H2O} /h.

También resulta necesario definir las temperaturas de estos afluentes. Para los condensados, durante el proceso de calentamiento en las barcas equivale a tener liquido saturado a 0.76 MPa es decir 168.5 °C. Para el agua de enfriamiento, la temperatura de descarga, es de 42 °C y para los baños de teñido, la temperatura de descarga, es de 65 °C. Todas estas aguas residuales que se liberan del área de tintorería, se descargan al alcantarillado.

Balance energético de la caldera en condiciones actuales. [5]

Básicamente, se calcula la eficiencia del generador de vapor por el método directo.

El poder calórico del Combustóleo (Fuel Oil No 6) es:

Poder Calórico Inferior: 40069.5 kJ/kg

Poder Calórico Superior: 42277.2 kJ/kg

El consumo de combustible medido en el tanque diario de 24.08gal/h lo cual equivale a 92.9 kg/h.

Eficiencia por el método directo. Se calcula por la ecuación que aparece en la tabla 2. Reemplazando se tiene:

$$h = \frac{Dv(h_v - h_{aa})}{Bc(Q_{bc} + h_c)} = \frac{3177129 .6kJ/h}{3738249 .5kJ/h} = 0.849 = 84.9\%$$

Donde:

D_v : Flujo de vapor generado por la caldera.

h_v : Entalpía del vapor generado: 2768 kJ/kg

h_{aa} : Entalpía del agua de alimentación: 293.6 kJ/kg

B_C : Consumo de combustible: 92.9 kg/h

Q_{bc} : Poder calorífico inferior del combustible.

h_c : Entalpía de entrada del combustible

4.1 Evaluación técnico-económica de recuperar los condensados y aislar tramos de la red de vapor.

Costo de producción del vapor. El costo de la generación de vapor, se calcula de la siguiente manera.

Costo vapor = costo fijo + costo variable

- Costo fijo = depreciación + salarios

Depreciación anual = (amortización)(inversión inicial)

$$\text{Depreciación anual} = (0.1\% / \text{año}) * (\$70000000) = 7000000\$/\text{año}$$

El costo de salario se desprecia pues no existe una persona que oficie como calderista. Entonces el costo fijo = 1,100 \$/h

- Costo variable = (Ccombustible + C.agua + C.energía eléctrica + C.químicos)

$$\text{Costo combustible} = 546 \$/\text{kg} * 92.9 \text{kg}/\text{h} = 50,700 \$/\text{h}$$

$$\text{Costo Agua} = 0.35 \$/\text{kg} * 1284 \text{kg}/\text{h} = 450 \$/\text{h}$$

$$\text{Costo energía eléctrica} = 26,500 \$/\text{día} * 1 \text{día}/20\text{h} = 1325 \$/\text{h}$$

El costo de los productos químicos se desprecia pues no se realiza un estricto control de las propiedades del agua de alimentación de caldera lo cual no es adecuado.

$$\text{Costo variable} = 52,475 \$/\text{h}$$

$$\text{Costo vapor} = \frac{53,575 \$/\text{h}}{1,284 \text{ toneladas de vapor}/\text{h}}$$

$$\text{Costo vapor} = 41,725 \$/\text{tonelada de vapor}$$

Como se observa, este parámetro del costo de vapor se ve afectado notoriamente por el costo del combustible, resultando los demás factores casi despreciables. Por lo cual los ahorros energéticos de las medidas propuestas, se plantean de acuerdo al consumo de combustible.

Recuperación de los condensados de vapor.

Actualmente en la planta de tintorería y acabados se retorna el condensado de las máquinas secadora, compactadora y barca No. 4 al tanque de agua de alimentación de la caldera; lo cual equivale al consumo de vapor y es un total de 414.2 kg condensado/hora.

La máquina que mayor condensado retorna es la secadora con 216 kg/h. Pero en el transcurso del día mientras esta no se enciende, la temperatura del agua de alimentación de la caldera no alcanza el valor promedio de 70.2 °C. Por ello se plantea la posibilidad de retornar los condensados de las barcas No. 5 y 6 que son iguales al consumo de vapor de 433.1 kg condensado/h.

Para estimar el dinero que se pierde al desechar este flujo masico de condensado se calcula el ahorro al suponer un aumento de la temperatura del agua de alimentación hasta 85 °C. Con lo cual el nuevo consumo de combustible es de:

$$B_c = \frac{D_U (h_v - h_a)}{h(Q_{bc} + h_c)} \quad (5)$$

Reemplazando se tiene que:

$$B_c = \frac{1284(2768 - 355.6)}{0.849(40069 + 170.5)} = \frac{3097521.6}{3416.333} = 90.66 \text{ kg/h}$$

Para evidenciar la potencialidad del ahorro anual que se obtiene con las medidas propuestas, se consideran los días efectivos de trabajo que son 317 días / año.

Para conocer el ahorro en pesos al año se debe conocer el precio del combustible que según la empresa distribuidora es de: 4200 \$/galón y el costo del combustible en \$/kg será de:

$$\text{Costo combustible} = \frac{(4200 \text{ \$/galón}) * (26413 \text{ galón/m}^3)}{849 \text{ kg/m}^3} = 13066 \text{ \$/kg} = 130600 \text{ \$/ton}$$

con respecto al consumo actual; el ahorro en combustible será de:

$$B_{c \text{ ahorrado}} = 92.9 - 90.66 = 2.24 \text{ kg/h}$$

$$B_{c \text{ ahorrado}} = (2.24 \text{ kg/h}) * (6340 \text{ h/año})$$

$$= 14,200 \text{ kg/año} = 14.2 \text{ ton /año}$$

Que representa un ahorro en dinero de:

$$(1,306,000 \text{ \$/ton comb}) * (14.2 \text{ ton comb/año}) = 18,554,433 \text{ \$/año}$$

Costo de la inversión: como se tiene instalado para la descarga de condensado a la salida de las barcas 5 y 6 una tubería en acero galvanizado de 1 pulgada, se requieren aproximadamente 20 metros de dicha tubería para conectar el retorno a la red principal (según cotización con la empresa Hierros de Occidente) se consiguen en el mercado dicha tubería en tramos de 6 metros de longitud por un valor de \$54,500.00. Así el costo del material es de \$327,000.00

El costo de ensamble de las tuberías, las cuatro llaves de paso que se requieren para controlar el flujo de condensados y el tiempo disponible del operario para mantener la temperatura del agua de alimentación en el valor deseado; se estima en un valor aproximado de: costo de instalación = \$475,000.00

Así la inversión total será de \$802,000.00 con lo cual el tiempo simple de recuperación de la inversión es:

$$TRI_s = \frac{\text{inversión}}{\text{ahorro}} = \frac{802,000}{18,554,433} = 0.043 \text{ años} = 16 \text{ días}$$

Aislamiento de los tramos de la red de vapor. En la planta de tintorería y acabados, solo se tiene aislada la tubería principal de distribución de vapor y el resto de la red como son la entrada de vapor a las máquinas y la tubería de retorno de condensados se encuentra sin aislamiento térmico.

El cálculo de esta perdida de calor equivale a 36.0 kW.

Posteriormente se hizo el cálculo de espesor critico y se obtuvieron eficiencias del aislante de 82% al 87% en el ahorro de energía proponiendo como material aislante fibra de vidrio que da una idea del efecto positivo que se logrará.

Así el nuevo calor perdido con el aislante es de 5.34kW. Con lo cual se tiene un ahorro de (36.0 - 5.34) = 30.66 kW. Aplicando la siguiente formula se tiene que el combustible perdido por liberar este calor al medio es:

$$m_c = \frac{Q_{\text{ahorrado}}}{h_{\text{caldera}} * Q_{dc}} = \frac{30.66 \text{ kW}}{0.849 * (40239.5 \text{ kJ/kg})} = 8.97 * 10^{-4} \text{ kgcomb/s} = 3.23 \text{ kgcomb/h}$$

Presentándose un ahorro anual de:

$$(3.23 \text{ kg/h}) * (6340 \text{ h/año}) * (1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}) = 20.47 \text{ ton/año}$$

y que en pesos representa un ahorro anual de:

$$(20.47 \text{ ton /año}) * (\$1,306,600 / \text{ton}) = \$26,746,102 / \text{año}.$$

La inversión requerida en las cañuelas de fibra de vidrio, instalación y sujeción se valora en un total de \$1,328,000

Por otro lado también se debe considerar el costo de la chaqueta de aluminio sujetada mediante tornillos y que debe recubrir la tubería de retorno de condensados de 1 pulgada que se encuentra a la intemperie. El valor de esta chaqueta se calcula como:

$$(\$ 35,150 / \text{m}) \text{ para chaqueta de aluminio de } 0.4 \text{ mm de espesor} * (15 \text{ m}) = \$527,250$$

Así el costo total de la inversión es de \$855.250. Y el tiempo simple de recuperación de la inversión es:

$$TRI_s = \frac{\text{inversión}}{\text{ahorro}} = \frac{1,855,250}{26,746,102} = 0.069 \text{ años} = 26 \text{ días}$$

4.2 Evaluación de instalar el recuperador de calor de tubos cortos en la caldera.

Se decidió proponer un recuperador en lugar de un economizador por la gran demanda de agua requerida en el proceso y que los equipos economizadores exigen un alto grado de utilización de la caldera.

Balance térmico del recuperador. Para realizar el balance se parte de las siguientes condiciones:

- Considerar un enfriamiento de los gases hasta 200°C.
- Una temperatura de entrada del agua al equipo de 26°C.
- Una temperatura de salida del agua a 60°C.
- Consumo de combustible sin recuperador de 92.8 kg/h.

Cálculo del calor disponible por balance térmico.

$$Q_b = (hg' - hg'') \dot{m} c \quad (6)$$

hg': Entalpía de los gases a la entrada kJ/kg: 5762 kJ/kg.

hg'': Entalpía de los gases a la salida kJ/kg: 5177 kJ/kg.

ϕ - Coeficiente de conservación de calor, $\phi = 0.98$

\dot{m}_c : Consumo de combustible: 92.8 kg/h

$Q_b = 14.77$ kW.

Determinación del flujo máximo de agua a calentar.

En estas condiciones se puede obtener:

$$Q_{agua} = m_{agua} C_{p_{agu}} (T_a' - T_a'') \quad (7)$$

Donde

$C_{p_{agua}} = 4.18$ kJ/kg*K

$T_a'' =$ Temperatura del agua a la salida (60°C)

$T_a' =$ Temperatura del agua a la entrada (26°C)

Se tiene un flujo máximo $m_{agua} = 335.9$ kg/h.

La necesidad es de 625 kg/h pero para el potencial disponible en los gases no es posible calentar este flujo de agua, sólo es posible calentar 335.9 kg/h.

Se observa que con la inclusión de este equipo se alcanza un ahorro de 8.8 toneladas de combustible al año.

Los costos de montaje y construcción de esta variante son los más elevados, no obstante se debe esperar si la empresa se decide a practicarla, para evaluar correctamente el periodo de recuperación de la inversión, ya que la propuesta que se calculó demuestra la potencialidad de utilizar el calor de los gases de escape de la caldera para calentar el 50% del agua necesitada en el proceso.

En la tabla 4, se resumen los ahorros que se obtienen con las medidas propuestas; además de que se incluye el factor del impacto ambiental de la evaluación en la disminución de CO₂ y SO₂ en la emisión de gases de combustión de la caldera.

Medida	Ahorro Combustible		Ahorro\$/año	PRI _s	Impacto Ambiental	
	kg/h	Ton/año			kg/año o SO ₂	m ³ /año CO ₂
Turbulizadores	1.4	8.8	4'804,800	27 días	328.4	33031.4
Recuperador	1.4	8.8	4'804,800	----	328.4	33031.4
Condensados	2.2	14.2	7'753,200	19 días	526.2	41400.2
Aislamientos	3.2	20.4	11'176,62 0	28 días	757.7	32335.1

Tabla 4. Ahorros y Beneficios Ambientales.

5. CONCLUSIONES

La recuperación de la energía térmica disponible, no solo tiene efecto económico, sino que también representa un efecto social al influir sobre el impacto ambiental.

En los cálculos realizados se aprecia, que con la implementación de todas las propuestas se alcanzan importantes variaciones en los parámetros de los gases de escape como la disminución del 8 % de los gases de SO₂ y del 15% en el volumen de CO₂.

En el aspecto del ahorro económico, se aplicó el criterio económico del período de recuperación simple de la inversión, sin actualización del costo del dinero (PRI_s).

Resulta importante recalcar, que todas las medidas tienen un corto periodo de recuperación que no excede el mes; lo que define el gran ahorro obtenido con inversiones mesuradas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GIBBS, B.M., Boiler fuel savings by heat recovery and reduced standby losses. Heat Recovery Systems. Great Britain . Vol. 7 (2) 151 -157, 1987.
- [2] GUTIÉRREZ, F., Eficiencia energética: Una estrategia para el desarrollo sustentable. Conferencia sobre energética en América Latina. Memorias. Vol. I, México, 1994.
- [3] HERRERA Omar y Blanco Alejandro, Equipos de transferencia de calor. Facultad energética del ministerio de educación; Ediciones La Habana, Cuba. 1985.
- [4] KIRILLIN, V. A. , Termodinámica técnica. Editorial MIR. Moscú. URRS. 1976
- [5] LAPIDO Margarita, Incremento de la eficiencia térmica en calderas pirotubulares por recuperación de las pérdidas de calor sensible, Tesis Doctoral, Cienfuegos, Cuba, 1998.
- [6] TANQUERO, Nelson. Guía Metodológica para proyectos del curso de generadores de vapor. Editorial ISPJAE. La Habana, Cuba.1987
- [7] CONAE, "Comisión nacional para el ahorro de energía en México" Generalidades del Modulo tecnológico de generación y distribución de vapor. México, Abril de 1997. <http://www.conae.gob.mx/>