



Artículo Original

Temperaturas de pared y punto de rocío en gases de combustión del generador de vapor BKZ-340-140-M/29

Wall and dew point temperatures in steam generator flue gases BKZ-340-140-M/29

Jorge Portuondo Pera¹, Luis Oliva Ruiz²  <https://orcid.org/0000-0002-1140-0363>, René Lesme Jaén²  <https://orcid.org/0000-0001-7274-0153>, Airen Fernández Cadete¹  <https://orcid.org/0000-0001-9103-2750>, Liety Ferrer Abad¹  <https://orcid.org/0000-0002-9730-3264>, Fé Jiménez Donatién¹, Jorge Luis Santana Romero³  <https://orcid.org/0000-0001-9344-4783>

Resumen:

Contexto: El petróleo cubano aumenta la temperatura de condensación de los vapores de H₂SO₄, causando corrosión y ensuciamiento en elementos estructurales de todas las centrales termoeléctricas de Cuba.

Objetivo: Determinar el comportamiento, para diferentes cargas, de la temperatura mínima de la pared de los cestos del calentador de aire regenerativo y el punto de rocío de los gases producto de la combustión de crudo cubano y Mazut 20, en la Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales".

Métodos: Se utilizaron las ecuaciones para determinar varios parámetros de los procesos que ocurren en el generador de vapor, así como los gráficos que vinculan las variables relacionadas al proceso de corrosión, al considerar el uso de combustible sulfurado en la Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales".

Resultados: Para todas las cargas, cuando el aire para la combustión se precalienta hasta 100 °C, la temperatura del punto de rocío para el crudo cubano, es superior al de la pared mínima de los cestos en la zona fría, sometidos a un proceso de corrosión y aumentando la necesidad de su cambio frecuente.

Conclusiones: La diferencia térmica entre la pared de los cestos fríos y el punto de rocío de los vapores de H₂SO₄, al quemar crudo cubano, junto a otras variables, conducen a la corrosión de los cestos. Para evitarlo, es necesario aumentar la temperatura del aire precalentado antes de su entrada.

Palabras clave: Generadores de vapor, calentadores regenerativos, corrosión.

Abstract:

Background: Cuban oil increases the condensation temperature of H₂SO₄ vapors, causing corrosion and fouling in structural elements of all thermoelectric power plants in Cuba.

Objective: To determine the behavior, for different loads, of the minimum temperature of the wall of the baskets of the regenerative air heater and the dew point of the gases produced by the combustion of Cuban crude oil and Mazut 20, in the Thermoelectric Power Plant "Antonio Maceo Grajales".

Methods: The equations were used to determine several parameters of the processes that occur in the steam generator, as well as the graphs that link the variables related to the corrosion process, when considering the use of sulfurous fuel in the Thermoelectric Power Plant "Antonio Maceo Grajales".

Results: For all loads, when the air for combustion is preheated to 100 °C, the dew point temperature for Cuban crude oil is higher than that of the minimum wall of the baskets in the cold zone, subjecting them to a process of corrosion and increasing the need for frequent replacement.

Conclusions: The thermal difference between the wall of the cold baskets and the dew point of the H₂SO₄ vapors, when burning Cuban crude oil, together with other variables, lead to the corrosion of the baskets. To avoid this, it is necessary to increase the temperature of the preheated air before it enters.

Keywords: Steam generators, regenerative heaters, corrosion.

Historial del artículo

Recibido: 7 julio 2022

Aceptado: 2 agosto 2022

¹Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales", Santiago de Cuba, Cuba;

²Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba;

³INTEC, Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.

Email:

portuondo@cterente.une.cu

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



Citación recomendada para este artículo: Portuondo Pera, J., Oliva Ruíz, L., Lesme Jaén, R., Fernández Cadete, A., Ferrer Abad, L., Jiménez Donatién, F., y Santana Romero, J. L. (2022). Temperaturas de pared y punto de rocío en gases de combustión del generador de vapor BKZ-340-140-M/29. *Monteverdia*, 15 (2), pp. 22-29. Recuperado de: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/3546>

Introducción

Al producirse el derrumbe del campo socialista de

Europa y la URSS en 1991, se experimenta una brusca disminución del suministro de petróleo a Cuba por lo que fue necesario la utilización del petróleo cubano

para el funcionamiento normal de las Centrales Termoeléctricas, alcanzando el 81,6 % (Estadística UNE 2011) para garantizar la generación de electricidad en el país.

La quema de estos combustibles caracterizados por un alto contenido de azufre, el cual aumenta la temperatura de condensación de los vapores de ácido sulfúrico ha traído como consecuencia serios problemas de corrosión y ensuciamiento en las zonas convectivas de bajas temperaturas y en las superficies de transferencia de los calentadores de aire regenerativos en todas las centrales termoeléctricas de Cuba, disminuyendo el tiempo de servicio de los mismos. Esto conduce a la necesidad de sustituir los cestos corroídos del equipo, así como al incremento de la temperatura de los gases de escape, disminuyendo el rendimiento del generador de vapor y su capacidad de generación por la falta de tiro provocado por el incremento del consumo de combustible. (Manzano, 2011).

En el presente trabajo se presenta el resultado del estudio sobre el comportamiento de la temperatura de la superficie fría de los calentadores de aire regenerativos del generador de vapor BKZ-340-140-M/29, 340 t/h de vapor a 140 MPa y 545 °C, instalado en la unidad de 100 MW de la Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”, en la provincia de Santiago de Cuba, con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico a partir de los parámetros normativos para el crudo cubano, con alto contenido de azufre ($S^1 = 4,388 \%$), comparando sus resultados con lo establecido para el combustible de diseño, Mazut 20 con un contenido menor de azufre. ($S^1 = 2,2 \%$).

Materiales y métodos

Para determinar tanto la temperatura de la pared de los cestos fríos del calentador de aire regenerativo, como la temperatura de punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico, se utilizaron las ecuaciones correspondientes (mostradas posteriormente en el trabajo), así como los gráficos que vinculan las variables relacionadas al proceso de corrosión, al considerar el uso de combustible sulfuroso en la Central Termoeléctrica Antonio Maceo Grajales, como es el caso del crudo cubano mejorado 1400 (ver Tabla 1) para ser comparado con el combustible de diseño Mazut 20 (Manzano, 2011).

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los combustibles utilizados en la CTE Antonio Maceo Grajales, Santiago de Cuba.

Propiedades	UM	Mazut 20	PCM-1400
Valor calórico inferior	MJ/kg	41.156	39.047
Azufre	%	2.2	4.388
Carbono	%	85.80	82.31
Hidrógeno	%	10.1	10.67
Humedad	%	0.70	1.63
Asfaltenos	%	6.7	14.6

En la Tabla 2 se muestran los datos técnicos principales de los calentadores de aire regenerativos objeto de estudio en la investigación.

Tabla 2. Datos técnicos principales de los calentadores de aire regenerativo tipo PBJ-5100.

Nº	Parámetro	Valor
1	Superficie de calentamiento, parte fría	2 975 m ²
2	Superficie de calentamiento, parte caliente	7 970 m ²
3	Altura de las láminas, parte fría	580 mm
4	Altura de las láminas, parte caliente	1 060 mm
5	Espesor de las láminas de los cestos fríos	1.2 mm
6	Espesor de las láminas de los cestos calientes	0.6 mm

Conforme a las condiciones de la corrosión, la superficie de calentamiento del CAR condicionalmente está separada en parte fría y parte caliente. En la parte caliente se encuentran las láminas que prácticamente no están sometidas a la corrosión, las mismas son onduladas, y presentan un espesor de 0,6 mm. En la parte fría las láminas están sujetas a una corrosión activa y se fabrican con un espesor de 1,2 mm. (Navarro, 2001).

El material de fabricación de las láminas es de acero CT3. Los paquetes de láminas están ubicados en dos pisos, en el primer piso están dispuestos los cestos de la parte fría y en el segundo piso los cestos de la parte caliente.

En los calentadores de aire, el proceso de corrosión está condicionado en gran medida, por la temperatura de la superficie de calentamiento. La experiencia de campo ha demostrado que no hay una dependencia estable entre la velocidad de corrosión y la temperatura del metal de los cestos de acuerdo con la Fig. 1. En la misma se muestra la incidencia de la

velocidad de corrosión en función de la temperatura del metal, para diferentes coeficientes de exceso de aire. (Navarro, 2001).

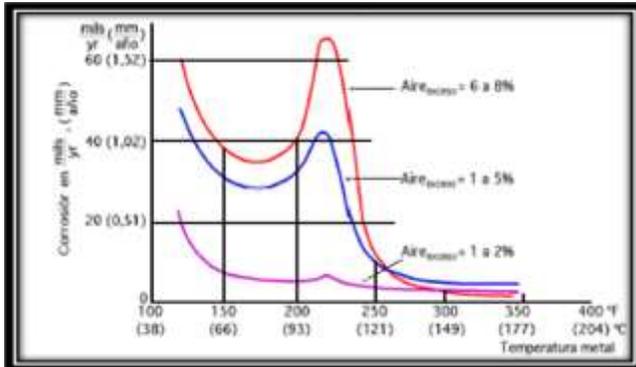


Fig. 1. Efecto del exceso de aire sobre la corrosión a baja temperatura del acero al Carbono.

Según el gráfico de la Fig.1 se puede observar que es recomendable para disminuir los efectos de la corrosión en los cestos del calentador, mantener su temperatura por encima de los 121°C, independiente del contenido de azufre en el combustible. (Navarro, 2001).

Otro método para evitar en gran medida el efecto de la corrosión en los cestos del calentador de aire regenerativo, es controlar la temperatura del aire precalentado a la entrada de este.

Cuando la producción de vapor de una caldera varía entre 100% y 75% de la carga nominal, el coeficiente de exceso de aire en el horno tiende a mantenerse en el rango de los límites normados; para este generador de vapor $\alpha_{hn} = 1,05$.

En las unidades de 100MW para cargas menores a 75MW se puede determinar el coeficiente de exceso de aire normativo a través de la ecuación (1). Prieto (2008).

$$\alpha_h = 1,0365 + 0,00273N_e - 3,4 \times 10^{-5} N_e^2 \quad (1)$$

Dónde:

α_h = coeficiente de exceso de aire a la salida del horno

N_e = carga de la unidad en MW

El coeficiente medio de exceso de aire en el CAR se puede determinar a través de la ecuación (2).

$$\bar{\alpha}_{car} = 0,5(\alpha' + \alpha'') \quad (2)$$

Donde:

$$\alpha' = \alpha_h + \Delta\alpha$$

$$\alpha'' = \alpha' + \Delta\alpha_c$$

Siendo:

α' : Exceso de aire entrada CAR

α'' : Exceso de aire salida CAR

$\Delta\alpha, \Delta\alpha_c$ - infiltraciones de aire en conductos y CAR

El comportamiento por diseño de la temperatura de los gases a la salida del generador de vapor se podrá determinar con la ecuación (3). (Navarro, 2001).

$$t_g = 131,95 + 0,297N_e \quad ^\circ\text{C} \quad (3)$$

Para determinar la temperatura del punto de rocío, se utilizó la gráfica representada por la Fig.2, aunque otros autores plantean el uso de otras ecuaciones.

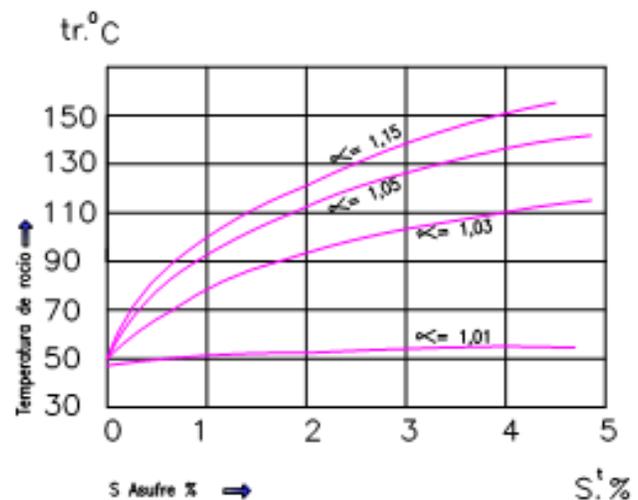


Fig. 2. Dependencia de la temperatura del punto de rocío en función del exceso de aire a la salida del horno y el por ciento de azufre en el combustible, para la combustión del Mazut.

Para el cálculo de la temperatura mínima del metal de los cestos fríos del calentador de aire regenerativos en la literatura (Navarro, 2001), se plantea la ecuación siguiente:

$$t_p = \frac{(x_1 \alpha_1 t_g + x_2 \alpha_2 t_a)}{(x_1 \alpha_1 + x_2 \alpha_2)}, \quad ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Dónde:

t_p , t_g'' y t_a' son, la temperatura mínima de la pared de los cestos de los calentadores, de los gases a la salida, y del aire a la entrada en °C, respectivamente. Siendo la temperatura del aire t_a' entre 80 y 100 °C.

X_1 , X_2 = Fracciones de las superficies de calentamiento o de la sección transversal del calentador bañada por los gases ($X_1 = H_g/H$) y el aire ($X_2 = H_a/H$), respectivamente.

H_g , H_a = Superficies total de calentamiento, por el lado de los gases y del aire respectivamente en m^2 .

α_1 , α_2 = coeficientes de transferencia de calor por el lado de los gases y del aire respectivamente, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

El coeficiente de transmisión de calor para calentadores de aire regenerativos, se determina con la siguiente expresión (5), según referencia:

$$\alpha = A_{car} \frac{\lambda}{d_e} \left(\frac{wd_e}{\nu} \right)^{0.8} Pr^{0.4} C_T C_L, \quad W/m^2 \cdot ^\circ C \quad (5)$$

Donde:

A_{car} : Coeficiente de corrección por el tipo de estampado del calentador de aire.

Para láminas de acero onduladas $A_{car} = 0,027$

Para láminas de acero lisa y distanciadas $A_{car} = 0,021$

P_r : Número de Prandtl.

w : Velocidad media del fluido m/s.

λ : Coeficiente de conductividad térmica del fluido $W/m \cdot ^\circ C$

ν : Viscosidad cinemática del fluido m^2/seg .

Las características físicas del aire y los gases (λ , ν y P_r) se obtienen mediante nomogramas:

C_T : Coeficiente de corrección por temperatura, es función de la temperatura del fluido y la temperatura de la superficie de transferencia igual a 1.

C_L : Coeficiente de corrección a la longitud relativa igual a 1.

d_e : Diámetro equivalente igual a 7.8 m. Se calcula por la ecuación (6):

$$d_e = \frac{4f}{U_m}, m \quad (6)$$

Donde:

f : Sección transversal para el paso de los fluidos, m^2

U_m : Perímetro bañado, m

La velocidad media de los gases necesaria para la determinación de los coeficientes de transferencia de calor se determina por la siguiente ecuación (7):

$$w_g = \frac{B_c v_g \bar{T}_g}{273 f_g}, m/s \quad (7)$$

Donde:

B_c : Consumo de combustible, kg/s

f_g : Sección transversal para el paso de los gases, m^2

v_g : Volumen total de gases, $m^3 N/kg$

\bar{T}_g : Temperatura media de los gases, K

Para el cálculo de la velocidad media del aire a su paso por el calentador, puede utilizarse la siguiente ecuación (8):

$$w_a = \frac{(\beta_{ca} + \frac{\Delta\alpha_{car}}{2} + r_{car})(B_c V^o \bar{T}_a)}{273 f_a}, m/s \quad (8)$$

Donde:

β_{ca} : Coeficiente que relaciona la cantidad de aire a la salida del calentador de aire real con la teórica, $\beta_{ca} = \alpha_h - \Delta\alpha_h$

$\Delta\alpha_{ca}$: Infiltraciones de aire en el calentador de aire

r_{ca} : Coeficiente de recirculación de aire

B_c : Consumo de combustible de cálculo, kg/s

f : Sección transversal para el paso de los fluidos, m^2

V^o : Volumen teórico de aire m^3/kg

\bar{T}_a : Temperatura media del aire, K

α_h : Coeficiente de exceso de aire a la salida del horno.

$\Delta\alpha_h$: Infiltración de aire en el horno.

El valor de la sección transversal para el paso de los fluidos, se calcula mediante las siguientes ecuaciones (9) y (10):

Para los gases:

$$f_g = 0,785D^2 x_1 k_r k_l z_{car}, m^2 \quad (9)$$

Para el aire:

$$f_a = 0,785D^2 x_2 k_r k_l z_{car}, m^2 \quad (10)$$

Donde:

z_{car} : Número de CAR en paralelo

D_r : Diámetro interior del rotor del CAR, m

k_r : Coeficiente que tiene en cuenta, la sección ocupada por los tabiques y el cubo de la rueda del CAR igual a 0,908

k_l : Coeficiente que tiene en cuenta, la sección del rotor del CAR ocupada por las láminas, igual a 0,860.

Resultados y discusión

Temperatura de punto de rocío y coeficiente de exceso de aire

En la Tabla 3 se muestran los resultados del coeficiente de exceso de aire a la salida del horno y el medio en los CAR a partir de las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. El exceso de aire disminuye a medida que aumenta la carga ya que, en la operación del generador de vapor a bajas cargas, se hace necesario aumentar el exceso de aire al horno, para lograr una mejor combustión y disminución de las pérdidas por incompleta combustión química q_3 , y de esta forma lograr aumentar la turbulencia que favorezca la formación de la mezcla adecuada para el proceso de combustión. Fajardo (2002).

Es necesario señalar que, a bajas cargas la calidad de atomización del combustible disminuye a causa de su baja presión, trayendo como consecuencia que el tamaño de las gotas no sea el adecuado, produciéndose una distribución no uniforme en la zona de combustión, efecto que puede compensarse con la utilización de una mayor cantidad de oxígeno.

Los valores de los coeficientes de exceso de aire a la salida del horno como se puede observar, dependen de la carga del generador de vapor. En nuestro caso se tomó desde 50 a 70 MW a intervalo de 10 MW y posterior a 70 a intervalos de 5 MW debido a que es la zona en donde el coeficiente de exceso de aire a la salida del horno no varía. Portuondo (2013).

En dicha tabla se puede observar además el comportamiento creciente del coeficiente medio de exceso de aire en los calentadores de aire regenerativos a medida que disminuye la carga debido a las infiltraciones de aire que ocurren en los diferentes agregados del generador de vapor debido a la diferencia de presión entre los gases y el medio.

Tabla 3. Coeficientes medio de exceso de aire en el CAR en dependencia de la carga.

Carga (MW)	Flujo de vapor (t/h)	α_h	α'	α''	α_m
50	158.0	1.088	1.264	1.420	1.342
60	189.0	1.074	1.219	1.362	1.291
70	221.3	1.061	1.191	1.324	1.258
75	237.2	1.050	1.170	1.298	1.234
80	253.1	1.050	1.163	1.287	1.225
95	301.1	1.050	1.145	1.259	1.202

Con el uso del gráfico representado en la Fig.2, se determinaron los valores de la temperatura del punto de rocío de los vapores de H_2SO_4 para diferentes cargas de los combustibles estudiados, los cuales aparecen en la Tabla 4. En esta se muestra que, para las mismas cargas e iguales coeficientes de exceso de aire, se obtienen diferentes valores de la temperatura de punto de rocío lo cual destaca la influencia del azufre en el combustible según su composición físico química. Fernández (2010).

Temperatura de la pared

La temperatura mínima de la pared de los cestos de los CAR determinado por la expresión (4), y presentado en la Tabla 5 muestra que los valores obtenidos están en el rango recomendado por la Fig.2, es decir por encima de 121 °C, según (Fernández, 2010), con una temperatura del aire precalentado de 100 °C para reducir la velocidad de corrosión. Aun así, hay que señalar que el proceso de condensación de los vapores de ácido sulfúrico en los CAR es inevitable para el caso del combustible con $St=4,38\%$

al no poderse lograr una temperatura en la pared superior a la de punto de rocío, lo que se muestra en la Fig.3. En la literatura se plantea que la temperatura de la pared debe ser de 10 °C, superior a la del punto de rocío.

Tabla 4. Resultados de la determinación de la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Parámetros	UM	Cargas (MW)					
		95	80	75	70	60	50
Flujo de vapor	t/h	301.1	253.1	237.2	221.3	189.5	158.0
Temperatura del punto de rocío para S ^t =4.38%	°C	134.6	134.6	134.6	136.1	138.1	140.9
Temperatura del punto de rocío para S ^t =2.5%	°C	118.0	118.0	118.0	119.0	120.5	122.6
Coefficiente de exceso de aire salida horno α _h	--	1.050	1.050	1.050	1.061	1.074	1,088

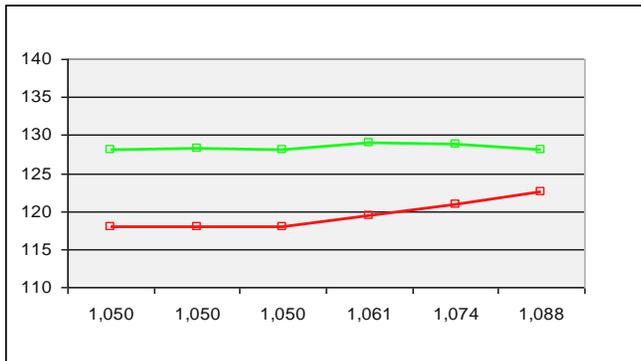


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura de la pared (2) con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de H₂SO₄ (1), para diferentes coeficientes de exceso de aire y cargas con el combustible de diseño cuyo contenido de azufre es S^t=2,2%.

En la Tabla 6 se muestran los valores de la temperatura mínima de la pared de los cestos de los CAR determinado por la misma expresión (4) para el mazut con S^t =2,2%, con valores inferiores a la anterior, pero por encima de 121 °C.

En la Fig. 4 se aprecia un comportamiento contrario, pues la temperatura de la pared se mantuvo por encima de la de punto de rocío de los vapores de ácido

Tabla 5. Resultados del cálculo de las temperaturas mínimas de pared de los cestos de los CAR. Para el crudo nacional 1400 con S^t =4,38%.

Parámetros	UM	Cargas (MW)					
		50	60	70	75	80	95
Velocidad de gases w _g	m/s	6.3	7.1	8.1	8.5	9.0	10.5
Velocidad del aire w _a	m/s	5.3	6.1	7.0	7.4	7.9	9.2
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases α ₁	W/m ² °C	46.7	51.5	56.5	58.6	61.2	68.7
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases α ₂	W/m ² °C	41.8	46.6	51.8	54.1	56.8	64.6
Temperatura media de la pared	°C	182.0	184.9	188.3	189.4	192.0	195.6
Temperatura mínima de la pared	°C	127.6	128.1	128.6	128.5	128.4	128.4

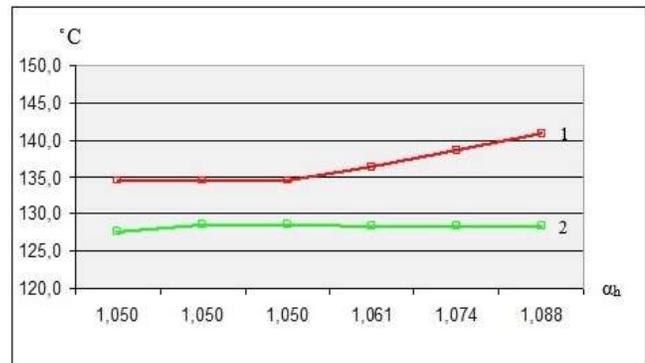


Fig. 4. Comportamiento de la temperatura de la pared (2) con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de H₂SO₄ (1), para diferentes coeficientes de exceso de aire y cargas con crudo nacional cuyo contenido de azufre es S^t=4,38%.

sulfúrico para todas las cargas, evitando así la condensación de estos sobre la superficie, utilizando una temperatura del aire precalentado de 80 °C a la entrada de los CAR. Fernández (2010).

Tabla 6. Resultados del cálculo de las temperaturas mínimas de pared de los cestos de los CAR para el Mazut 20 con $S^i=2,2\%$.

Parámetros	UM	Cargas (MW)					
		50	60	70	75	80	95
Velocidad de gases w_g	m/s	6.3	7.3	8.2	8.2	9.3	10.4
Velocidad del aire w_a	m/s	5.3	6.4	7.3	7.3	8.3	9.4
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases α_1	W/m ² °C	40.1	44.9	48.8	48.8	53.6	58.2
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases α_2	W/m ² °C	36.3	41.7	46.1	46.3	51.2	56.1
Temperatura media de la pared	°C	141.0	144.0	147.0	148.0	149.0	150.0
Temperatura mínima de la pared	°C	119.3	120.6	122.0	122.7	123.5	125.9

Corrosión en los cestos fríos del calentador de aire regenerativo (CAR).

En la Fig.5 se puede observar el nivel de corrosión que enfrentan los cestos de los calentadores de aire regenerativos.



Fig. 5. Proceso de corrosión en los cestos fríos de los calentadores de aire regenerativos.

Esto es consecuencia de la condensación de los vapores de ácido sulfúrico en la zona de baja

temperatura del generador de vapor, al no mantenerse una temperatura en la pared de los cestos, superior a la del punto de rocío de dichos vapores. Lo anterior provoca el deterioro de los mismos y la pérdida de eficiencia del generador de vapor, al disminuir la transferencia de calor entre el aire y los gases producto de la combustión al expulsar estos últimos con mayor temperatura a la atmósfera. Portuondo (2013).

Conclusiones

Con la quema del crudo nacional la temperatura de la pared de los cestos fríos se mantiene por debajo de la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico, provocando la condensación de estos sobre dicha pared para todas las cargas, aun cuando se mantienen los parámetros de diseño; por lo tanto, el proceso de corrosión será permanente.

Bajo las condiciones de diseño la durabilidad de los cestos fríos es de un año con uno o tres meses de explotación.

Con el régimen de explotación, el exceso de aire y la temperatura del aire precalentado están fuera de los valores normativos, el proceso de corrosión en los cestos fríos de los calentadores será más agresivo debido al incremento de la velocidad de corrosión, reduciendo la vida útil de los mismos desde un año a ocho meses.

Para evitar la corrosión en los cestos fríos a causa de la condensación de los vapores de ácido sulfúrico, es necesario lograr valores de temperatura en el aire precalentado superiores a los de diseño, para poder lograr que la temperatura de la superficie fría sea mayor que la del punto de rocío de dichos vapores y con esto se extendería la vida útil de los cestos.

Financiamiento de la investigación

Reconocer a la institución, organización o individuos que financian la investigación y proporcionar la información pertinente sobre el financiamiento.

Contribución de los autores

Portuondo Pera: planeación de la investigación, conducción de la aplicación de la metodología, recopilación y procesamiento de la información, revisión documental, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Oliva Ruíz: planeación de la investigación,

recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Lesme Jaén: planeación de la investigación, recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Fernández Cadete: recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Ferrer Abad: recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Jiménez Donatién: recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Santana Romero: recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Conflictos de intereses

No se manifiestan conflictos de intereses.

Referencias

Fajardo Rizo, M. (2002). *Metodología de cálculo de sobreconsumos Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”*. (Manuscrito sin publicar). Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”, Santiago de Cuba.

Fernández Díez, P. (2010). *Guía para Centrales Térmicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética*. (Tesis de maestría) Universidad de Cantabria, España.

Manzano, N. (2011). *Manual de eficiencia energética de determinación de la temperatura mínima del metal de los cestos de los CAR de los generadores de vapor BKZ-340-140/29M en función de la carga para minimizar el efecto corrosivo de los gases producto de la combustión en combustible de alto contenido de azufre*. (Tesis de maestría). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Navarro, P. (2001). *Estudio de la Corrosión en generadores de vapor que consumen crudo nacional*. (Tesis de maestría). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Portuondo Pera, J. (2013). *Factibilidad técnico económica del uso de láminas esmaltadas en los cestos fríos de los calentadores de aire regenerativos de las unidades de 100 MW de la Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”*. (Manuscrito sin publicar). Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”, Santiago de Cuba.

Prieto, L. (2008). *Análisis del comportamiento de la caída de presión en el eje convectivo del generador de vapor en la unidad# 6 de la CTE “10 de octubre” con la quema del crudo cubano*. (Tesis de Maestría). Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.