



AUDITORÍA Y PROPUESTA DE UN PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL HORNO PH1 (300189), DE LA PLANTA PARSONS DE LA REFINERÍA LA LIBERTAD

Principal autor: ¹Cazar Rivera Eduardo Santiago.

Principal autor: ²Ureta Valdez Rogelio Estalin.

Docente ESPOCH Sede Morona Santiago.

escr_shark@hotmail.com

royel_02@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Cazar Rivera Eduardo Santiago y Ureta Valdez Rogelio Estalin (2019): "Auditoría y propuesta de un plan de ahorro energético en el horno ph1 (300189), de la planta Parsons de la refinería La Libertad", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (julio 2019). En línea

<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/07/plan-ahorro-energetico.html>

RESUMEN

Este trabajo responde a las políticas y tendencias de ahorro energético definidas por el país, toda vez que es preocupación mundial el cuidado del consumo de los recursos no renovables, y la contaminación que estos causan. Por lo mencionado, se ha realizado una Auditoría y Propuesta de un Plan Ahorro Energético en el horno PH-1 (300189), de la planta Parsons, Refinería La Libertad, con la finalidad de determinar el consumo de energía, sus pérdidas y su eficiencia, con la finalidad de plantear posibles propuestas de ahorro y optimización. Para esto se recolecta los datos e información necesaria a fin de tabular y determinar mediante las ecuaciones de conservación de materia y energía, el rendimiento del horno y su combustión, identificando sus principales problemas y proponiendo posibles soluciones, planteando un plan de ahorro. Una vez identificados los valores correspondientes a dichos consumos, se plantean las causas, y diez propuestas para mejorar el desempeño del horno, y con ello un ahorro de combustible (bunker N°- 6) de 163.364 galones/hora, cumpliendo así con el objetivo principal

ABSTRACT & KEYWORDS

This work responds to the policies and trends of energy saving defined by the country, since it deals with the global attention to the care of non-renewable resources, and the responsibility they cause. For the aforementioned, an Audit and a Proposal for an Energy Saving Plan has been carried out in the PH-1 furnace (300189), from the Parsons plant, La Libertad Refinery, in order to determine the energy consumption, its Compacts and its efficiency. With the purpose of proposing possible savings and optimization proposals. For this, the data and information are

¹ Ingeniero Mecánico, Magister en Gestión de Operaciones

² Ingeniero en Industrias Pecuarias, Magister en Gestión de la Producción, Máster en Prevención de Riesgos Laborales

collected for the purpose of tabulating and determining, through the equations of conservation of matter and energy, the performance of the furnace and its combustion, identifying its main problems and proposing possible solutions, planting a plan saving. Once the values correspond to said consumptions, the causes are raised, and ten proposals to improve the performance of the furnace, and with it a fuel saving (bunker No. 6) of 163,364 gallons / hour, thus fulfilling the main objective.

Palabra clave:

Auditoria energética del horno petrolero

Key words:

Energy audit of the oil furnace

1. INTRODUCCIÓN:

Es obligación de los ecuatorianos, con más razón los profesionales aportar con investigaciones para solucionar la gran problemática del consumo indebido de energía. Por el convenio entre la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO y PETROECUADOR, motivo por el cual se realizan prácticas pre- profesionales, se tiene conocimiento de la relación del proceso que realiza la Refinería del cantón La Libertad. Y habiendo revisado en bibliografía especializada, que afirma: “Del total de energía utilizada en una refinería, la partida más importante del 80 a 90 % del total del consumo energético del proceder de combustibles líquidos y gaseosos quemados en hornos de proceso. Además, este es el proceso con mayor nivel térmico y, por lo tanto, con mayores pérdidas de energía. Cualquier mejora introducida en el diseño de estos equipos produce sustanciales ahorros de energía”.³ Bajo esta premisa se realiza previamente la auditoria energética del horno PH-1 (300189). “Se denomina auditoria energética a la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía con el propósito de evaluar las posibilidades de ahorro de energía y la cuantificación de las mismas, así como para determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas”.⁴ El análisis de la auditoria energética del horno da como referencia tres principales causas de pérdida energética, las mismas son: Por sobre carga, deficiente combustión y deterioro del aislante térmico en las paredes del horno. Respecto a la eficiencia energética y al consumo de hidrocarburos, cada vez más costosos y/o por sus características contaminantes, respaldando el Plan Nacional de Ahorro Energético, dictado por el Ministerio de Energía y Minas, Subsecretaría de Electrificación, Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética, en el año 2004. Son el sustento en realizar una auditoría del horno PH 1 de la planta PARSON de la Refinería La Libertad, con el fin de mejorar su eficiencia energética y aportar con la disminución de quema innecesaria de hidrocarburos. Se denomina auditoría energética a la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía con el propósito de evaluar las posibilidades de ahorro de energía y la cuantificación de las mismas, así como para determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas. Según datos del Ministerio de Energía y Minas se tiene que, en el 2002, los requerimientos energéticos del país están dominados por productos hidrocarbúricos, los cuales, en conjunto, suplieron el 86% de la demanda sectorial de energía, el sector transporte, principalmente automotor, es el mayor responsable del consumo energético en el medio nacional, con una participación que supera el 52% de la demanda total de energía. Esta alta

³ Castillo Neira p. Ahorro de energía en procesos de refinación. Año 2003, pp. 26

⁴ Ministerio de Energía y Minas: Eficiencia Energética, año 2000, pp. 89

dependencia de los hidrocarburos, además de los impactos ambientales regionales y globales, asociados a la producción y uso de la energía, resulta, para muchos países en general y para Ecuador en particular sumamente oneroso e impacta negativamente en su balanza de pagos en subsidios. Este difícil panorama ha generado la necesidad en el país de identificar y aplicar medidas que contribuyan la preservación de los recursos naturales. Una de las alternativas encontradas es la utilización racional de los mismos, la cual se logra al evitar dispendios o mejorando la eficiencia energética de los aparatos y sistemas que transforman la energía, y en forma indirecta contribuir a mitigar el impacto social que conlleva el proceso de incremento de tarifas, de los hidrocarburos.

2. METODOLOGÍA:

El enfoque metodológico para la realización de la auditoría y propuesta de un plan de ahorro energético en el horno ph1 (300189), de la planta Parsons de la refinería La Libertad, es del tipo cuantitativo, ya que se basa en el estudio estadístico de los históricos de consumos energéticos versus productividad que mantiene la empresa en sus operaciones. Para posteriormente comparará y calcular la factibilidad económica. Se busca además posibles procedimientos y equipos que optimicen y mejoren la eficiencia del equipo para lo cual se procede con un método descriptivo para lo cual se parte de los consumos energéticos actuales, para compararlos con investigaciones de equipos similares, y realizar los estudios de factibilidad de accesorios que mejoren la eficiencia del horno, y con ello el estudio de factibilidad económico.

3. RESULTADOS:

“Del total de energía utilizada en una refinería, la partida más importante del 80 a 90 % del total, procede de combustibles líquidos y gaseosos quemados en hornos de proceso o calderas. Además, éste es el proceso con mayor nivel térmico y, por lo tanto, con mayores pérdidas de energía. Cualquier mejora introducida en el diseño de estos equipos produce sustanciales ahorros de energía”. Por los datos obtenidos en la recopilación de datos operacionales, y los cálculos realizados, se puede determinar la relación de energía del horno PH-1(300189) que se la muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Energías que intervienen en el horno PH – 1 (300189)

QE	Btu/	QU	Qgc	Btu/	Qis	Qig	QR	QP
h		Btu /h	h		Btu/ h	Btu/ h	Btu/ h	Btu/ h
83878330.6		49379467.65	21572716.35		1217128.298	8637.776	2084804.419	9615576.11

Fuente: Autor.

Donde:

QE → Energía de entrada → 100%

QU → Calor útil → 58.87 %

Qgc → Calor de los gases de combustión o calor de humos → 25.72 %

Qis → Calor de in-quemados sólidos → 1.45 %

Qig → Calor de in-quemados gaseosos → 0.010%

QR → Calor de pérdidas por paredes → 2.48 %

QP → Calor de pérdidas → 11.711 %



Figura 1.
Fuente: Autor

De esto se deduce, que la energía útil es del 58.87%, debido a varios factores que se plantean a continuación:

3.1. Pérdidas por sobrecarga.

Se debe tener en cuenta que el nivel de carga, en relación con la variación del rendimiento de un horno es apreciable. Ya que, al trabajar con una carga, superior a la de diseño, se presentarán una serie de problemas, tales como:

- Más consumo de combustible.
- Desgaste de las boquillas atomizadoras.
- Problemas en el cono de la llama.
- Impacto de la llama, contra los tubos.
- Aumento del exceso de aire, para controlar la forma de la llama y evitar el impacto contra los tubos.
- Deterioro en el aislamiento. Los mismos causan un alto porcentaje de pérdida energética, y responden al bajo rendimiento del horno.

El horno PH-1 (300189) de la planta Parsons, fue diseñado para una carga de 221383 lb/h de crudo con 55.70 API. En la actualidad se procesa 256996lb/h de un crudo con 280 API, por esto se determina que se trabaja con una sobre carga del: 0,166 veces más que el de diseño.

$$\frac{\text{Carga de Trabajo}}{\text{Carga de diseño}} = \frac{256996}{221383} = 1,16587; [3. 1]$$

Se observa en el grafico 3.1 y se determina que la sobrecarga, afecta en un 0.112 del rendimiento, lo que corresponde a (9394373.027 Btu/h = 2753,07 kw) Esto equivale al Q perdidas, El resto de pérdidas de energía son incontroladas siendo alrededor de 221203.083 Btu/h

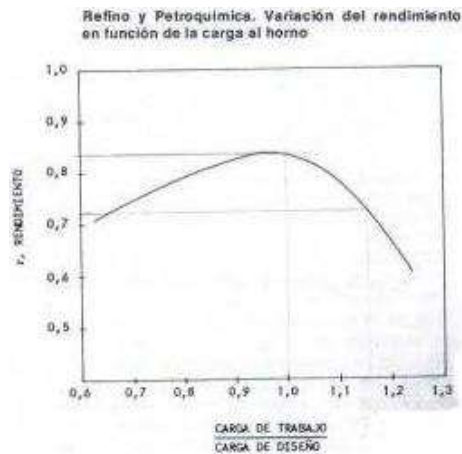


Figura 2. Variación del rendimiento en función de la carga del horno.
Fuente: *Manual de auditoría energética ((Cadem) Capítulo I: Calderas, octubre 1991))*

3.2. Pérdidas por gases de combustión (Qgc).

La pérdida por gases de combustión o humos, está relacionado directamente por el exceso de aire en la combustión y por la temperatura en la salida de estos. El horno presenta un defecto en las boquillas atomizadoras (deformación en los orificios de expulsión del combustible), junto con las exigencias de sobrecarga lo que obliga a inyectar más combustible, además de funcionar con solo con 14 de los 15 quemadores que tiene el horno. Son los causantes de defectos en la atomización del combustible y forma de la llama, ocasionando impacto de esta contra los tubos de la zona de radiación. En compensación de la defectuosa atomización, y la consiguiente deformación de la llama se está trabajando con exceso de aire comburente, superior al recomendado (36% de exceso de aire comburente, determinado por el %O = 5.8 en los gases de chimenea, dato del laboratorio de la Refinería, y utilizando la figura 3.4), lo que aumenta el caudal de los humos y de su temperatura a 550°C, a más de provocar una disminución del rendimiento térmico de la llama y de la combustión. Causando una pérdida por gases de chimenea de:

$$Q_{gc} = 25.72\% = 21572716.35 \text{ Btu/h} = 6322 \text{ kW}.$$

3.3. Pérdidas por paredes.

El estudio del comportamiento del aislante del horno se lo determino por medio de termofotografía, observándose elevadas temperaturas en algunas áreas de las distintas paredes que conforman la cabina del horno, al igual que zonas puntuales en similar situación, por este estudio se determinó desprendimiento del material aislante, erosión y separación en las platinas que conforman las paredes, etc. Produciendo perdidas de energía de:

$$Q_R = 2.486\% = 2084804.419 \text{ Btu/h} = 610.9635 \text{ KW}.$$

Sugerencias para el mejor funcionamiento del horno Ph1:

3.4. Trabajar a carga de diseño. -

Como ya se ha analizado la figura 2, tenemos que el Horno al trabajar a sobre carga del 1.1658 veces mayor a la que se lo hacía en el año 1971 (con la empresa ANGLO), se determina una pérdida del 10% de su eficiencia, debido a que en la zona de radiación, la transmisión térmica bajan significativamente, ya que a mayor flujo de carga que pasa en menor tiempo por los tubos, afecta la eficiencia en la transferencia de calor; causando un aumento en el consumo de combustible.

Si se operara el horno a una carga de 20000 barriles/día, la eficiencia se incrementaría el 10%, lo que equivale a un ahorro de combustible, proporcional a la carga de: 576.6677609 Lb/h, con lo cual el ahorro de combustible es de: 77.81gal/h.

Con este ahorro de combustible, a más de mejorar la eficiencia del horno en un 10%, es obligación trabajar a carga de diseño, que es 20000barriles/día.

3.5. AJUSTE DE COMBUSTIÓN.

Sabiendo que la eficiencia de la combustión está ligada, al exceso de aire comburente, y al funcionamiento correcto de los atomizadores, las pérdidas de combustión se pueden minimizar:

- ✓ Reduciendo al mínimo el exceso de aire. Para el caso de los combustibles líquidos (Kerex, Diesel y bunker), se aconseja que el exceso de aire no sobrepase el 20%.
- ✓ Manteniendo los quemadores en buen estado de operación, mediante una revisión periódica, realización una correcta limpieza como indica el fabricante, "limpieza a base de vapor, sin estropear los orificios atomizadores"¹⁷.
- ✓ Manteniendo libre de suciedades las superficies de intercambio de calor. En el lado de fuego, remover periódicamente las incrustaciones de in-quemados sólidos (hollín), y en el lado del elemento que se quiere calentar, remover incrustaciones de coque.
- ✓ En el caso de los combustibles líquidos pesados, precalentarlos hasta obtener una viscosidad adecuada para lograr su óptima atomización. Más rápida y eficiente será la combustión cuanto mayor sea el volumen de contacto entre el combustible y el aire comburente, esto se lo consigue mediante una pulverización eficiente, lo que provoca una mezcla adecuada entre el aire comburente y el combustible pulverizado.
- ✓ Mantenimiento periódico de los quemadores, que consiste básicamente en una limpieza regular.
- ✓ Manejo adecuado del combustible con la eliminación de sólidos, agua, etc.; en el caso de combustibles pesados, debido a su viscosidad, se hace necesario su calentamiento a temperaturas adecuadas, de lo contrario, la atomización será deficiente. Atomización que puede ser facilitada por la adición de dispersan-tés al combustible ya que reducen la tensión superficial, facilitando la formación de gotas.
- ✓ Suministro del combustible, del vapor de pulverización y del aire de combustión a las presiones y temperaturas indicadas por los fabricantes de los quemadores. Debiendo ser controlados por la lectura de los manómetros y termómetros, que deben estar siempre en buen estado y calibrados.

- ✓ Carga de operación de los quemadores: la carga de operación de los quemadores indicada por el fabricante debe ser compatible con la demanda térmica real del equipo, en sus condiciones usuales de operación.
- ✓ Se debe notar que la pulverización deficiente exige normalmente mayores excesos de aire, con los efectos ya comentados anteriormente.

3.6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CORRECTA DEL ANILLO REFRACTARIO.

Los anillos refractarios son adquiridos y reparados, sin ofrecer ninguna garantía en la manufactura del producto, por lo que presentan defectos en la forma del tabique del anillo, sin uniformidad ni presentando concetricidad entre el anillo, la bayoneta del quemador junto con la boquilla y la luna refractaria. Siendo la causa de una inadecuada mezcla del combustible con el aire comburente, por una inadecuada turbulencia en la recirculación del aire comburente.



Figura. 3: Conformación del anillo refractario en el horno PH – 1 (300189).

Fuente:

En la figura 3., se aprecia que el anillo refractario no está concéntrico con respecto a la luna, al igual que la bayoneta del quemador, con respecto al tabique del anillo refractario.

3.7. Correcta operación de los quemadores.

Durante la operación es aconsejable tener un control apropiado de los quemadores, ya que su funcionamiento es manual, exigiendo mayor cuidado y constante vigilancia. Por consiguiente, los operarios deben estar capacitados para saber solucionar cualquier inconveniente que presenten los quemadores. Como los quemadores son de tiro natural, se debe tener un manejo apropiado del dámper, ya que se puede presentar problemas, en la succión del aire comburente, o imprimir demasiada velocidad a los gases de combustión, lo que bajaría el rendimiento en la zona de convección. Las razones por las cuales se viene utilizando aislamiento térmico en la industria se pueden resumir en:

- ✓ Necesidades de proceso.
- ✓ Seguridad de personas y bienes.
- ✓ Reducción de pérdidas energéticas.
- ✓ Reducción de la contaminación ambiental.

Una instalación mal aislada representa un peligro para el personal, pudiendo llegar a producir averías a otros aparatos e incluso incendios. Una instalación deficientemente aislada reporta pérdidas cuantiosas de energía, o lo que es lo mismo, económicas, si bien es cierto el costo de un buen aislamiento en un equipo es alto, el periodo de amortización de este es corto, ya que el ahorro energético que se obtiene es mayor.

3.8. Recuperación de las pérdidas de los humos:

Posterior al ajuste de combustión, se presentan nuevas posibilidades de recuperación de parte de la energía residual contenida en los humos, que salen del horno.

3.9. Precalentar el aire de combustión. -

Son elementos en los que se eleva la temperatura del aire de combustión mediante el calor aportado por los gases de salida del horno. El uso de pre-calentadores de aire está indicado:

- ✓ Como mejora de la combustión.
- ✓ Cuando se precisa temperaturas elevadas de llama, para aumentar la proporción de calor transmitido por radiación.
- ✓ Disminuye el exceso de aire para la combustión.
- ✓ Los quemadores de tiro forzado son más eficientes, y trabajan con porcentajes de exceso de aire bajos. PORCENTAJE DE AHORRO DE COMBUSTIBLE, AL REDUCIR EL

3.10. Exceso de aire: 51 DEL PDF

El ahorro de combustible que, al disminuir el exceso de aire, aumenta la eficiencia de la combustión, se proyecta en la figura una horizontal hasta interceptarla con la curva % O₂ Vs % exceso de aire, bajamos una vertical asta interceptarla con las curvas de temperatura de gases de combustión en la chimenea (en este caso 550°C); desde este punto se traza una horizontal al porcentaje de ahorro de combustible, con lo que se obtiene un ahorro de 4% de combustible, esto corresponde a un ahorro de 23.86 galones/hora, al trabajar con un exceso de aire comburente del 20%.

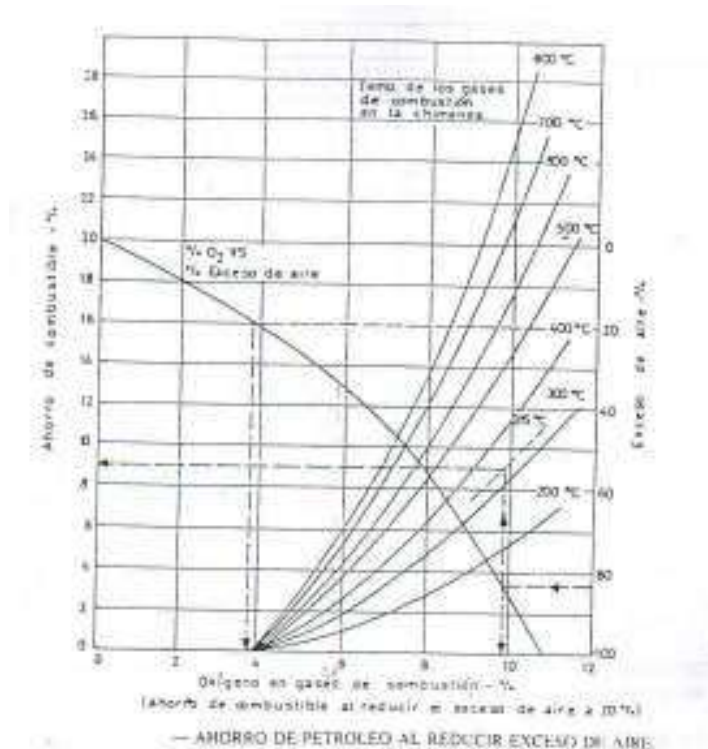


Figura 4. Ahorro del combustible al reducir el exceso de aire
Fuente: Fuente: (Castillo, N 2003)

$$\% \text{ Ahorro de combustible} = 4 \% = A_{\text{Caire}}$$

$$A_{\text{Caire}} = 0.04 * 4421.12 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 176.8448 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 23.86151 \frac{\text{Galone}}{\text{h}}$$

Por tanto, se mejoraría la combustión si se tiene presente:

- ✓ Más rápida y eficiente será la combustión cuanto mayor sea el volumen de contacto entre el combustible y el aire comburente, esto se lo consigue mediante una pulverización eficiente, lo que provoca una mezcla adecuada entre el aire comburente y el combustible pulverizado.
- ✓ Mantenimiento periódico de los quemadores, que consiste básicamente en una limpieza regular.
- ✓ Manejo adecuado del combustible con la eliminación de sólidos, agua, etc; en el caso de combustibles pesados, debido a su viscosidad, se hace necesario su calentamiento a temperaturas adecuadas, de lo contrario, la atomización será deficiente. Atomización que puede ser facilitada por la adición de dispersantes al combustible ya que reducen la tensión superficial, facilitando la formación de gotas.
- ✓ Suministro del combustible, del vapor de pulverización y del aire de combustión a las presiones y temperaturas indicadas por los fabricantes de los quemadores. Debiendo ser controlados por la lectura de los manómetros y termómetros, que deben estar siempre en buen estado y calibrados.

- ✓ Carga de operación de los quemadores: la carga de operación de los quemadores indicada por el fabricante debe ser compatible con la demanda térmica real del equipo, en sus condiciones usuales de operación.
- ✓ Se debe notar que la pulverización deficiente exige normalmente mayores excesos de aire, con los efectos ya comentados anteriormente.

3.11. Cambio de los atomizadores.

El deterioro de los orificios de expulsión del combustible en las boquillas atomizadoras provocan deformaciones en la llama (apertura del ángulo de incidencia), lo que causa el impacto de las llamas, contra los tubos, afectando la vida útil de los mismos, reduciéndola a 126 días: (del 2006-09-13 al 2007-01-17), por lo que es aconsejable el cambio inmediato de las boquillas atomizadoras.



Figura 5: Impacto de las llamas contra los tubos.

Fuente: Autor



Figura 6: Tubos afectados por impacto de llama.
Fuente: Autor



Figura 7: Cambio de

Fuente: Autor

tubos afectados.



Figura 8: Atomizadores

Fuente: Autor

defectuosos.

En las figuras 6 a la 8, se observa los problemas que ocasionan el impacto de llama contra los tubos.

3.12. Diseño térmico del precalentador de aire comburente para el horno ph-1 (300189) y balance energético con las mejoras

Una vez tomada la alternativa de ahorro energético, al precalentar el aire comburente, por lo que se realiza el análisis térmico, para posteriormente establecer un balance energético, del horno, con dicha mejora y propuestas de mejoramiento del equipo.

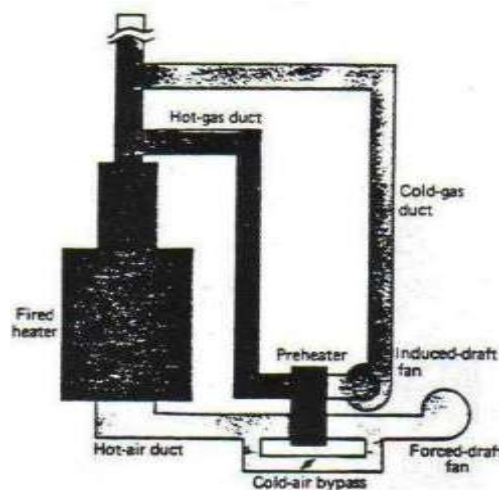


Figura 9. Descripción de la implementación del precalentador de aire comburente para el horno PH 1 (300189)
Fuente: (Castillo, N 2003)

3.13. Datos del requerimiento térmico del precalentador del aire comburente.

Se obtendría un ahorro del 12.8% del combustible, como se indica en la tabla V - V, para esto es necesario cumplir con las siguientes características:

- ✓ Temperatura a la que se calentara el aire de combustión (T_{acmb}) = 250 °C.
- ✓ Temperatura de los gases de chimenea "humos" (T_{ch}) = 550 °C.
- ✓ La combustión se regulará para trabajar con un exceso del 20%

Con estas características, se procede a realizar el estudio energético, para determinar la factibilidad de calentar el aire comburente, a la temperatura requerida (250°C), con la energía de los gases de chimenea (humos).

3.14. CALOR APROVECHABLE DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN (q_{GCE})

Se regula la combustión para que se obtenga con un exceso de aire del 20%, para proceder a determinar la energía que tienen los gases de combustión en estas condiciones:

- ✓ Teniendo un exceso de aire del 1.23 → Tabla A-18, ANEXO E

Donde:

- ✓ % O₂ = 4
- ✓ CO₂ = 13.43
- ✓ T_{ch} = 525 °C
- ✓ De la tabla A-18 → el caudal de los humos.
- ✓ q_{hu} = 16.9 kg de humos/kg de combustible;

Con la temperatura de los gases T_{ch} , se determina la entalpía de los gases:

$$h_{ch} = 138.7 \text{ kcal/kg de humos}$$

Calor sensible de los gases de combustión (q_{gc})

$$q_{gc} = q_{hu} * h_{ch} = 2344.03 \text{ kcal/kg de combustible.}$$

Sugerencias:

- ✓ Hay que tener en cuenta que no se puede contar con toda esta energía, ya que se debe evitar que existan condensados en los humos, y no tener problemas debidos a la presencia de (SO₂H₄), para evitar la contaminación producida por estos.
- ✓ Para evitar el problema mencionado las temperaturas de los gases de chimenea no deben salir del precalentador a menos de 200 °C, con esto se da un margen de 25°C más, para evitar los problemas mencionados.

Por consiguiente, se deberá restar la entalpía de los gases a 225°C de la entalpía total de salida de estos a 525°C, luego se calcula la energía de los gases de combustión a 225°C.

- ✓ El caudal de los humos es: $q_{hu} = 16.9$ kg de humos/kg de combustible;
- ✓ Con la temperatura mínima, a la salida del precalentador $T_{chS} = 200$ °C; → en la tabla A-18 Anexo E, se determina la entalpía de los gases a la salida del Precalentador:

$$h_{chS} = 51.2 \text{ kcal/kg de humos.}$$

Por esto la energía que no se puede aprovechar de los humos es:

$$q_{gcS} = q_{huS} * h_{chS} = 865.28 \text{ kcal/kg de combustible}$$

A partir de esto, se determina la energía que se aprovecha para el precalentador (q_{gcE}).

$$q_{gcE} = q_{gc} - q_{gcS}$$

$$q_{gcE} = 1478.75 \text{ kcal/kg de combustible}$$

Con esta energía se calienta el aire comburente a 250 °C, así mejora la eficiencia de la combustión, la eficiencia del horno y disminuye el consumo del combustible, la eficiencia se incrementará en un 10%.

3.15. Cantidad de combustible que se quemaría, si se aplicaran las propuestas (m Cmb2).

Se considera todos los posibles ahorros que se determinaron en el capítulo anterior, y se procesa la cantidad de crudo, para el cual el horno fue diseñado, se tiene que:

Tabla 2: Medidas y porcentaje de ahorro de combustible.

Consumo actual de Combustible	100%	Combustible (lb/h)	Galones/ hora
		4421.1195	596.54124
Causa de Ahorro	% de ahorro	Combustible ahorrado	Ahorrado (galones/h)
* Trabajar a carga de diseño	13.04	-576.6677609	-77.81
*Ajustar la combustión	4	-176.8448	-23.862
* Reparación del refractario	1.457157	-64.4226838	-8.7
Total, de Ahorro:	18.497157	-817.9352447	-110.372
Consumo de combustible con las mejoras M_{cmb1} ;	81.50282843	3603.123911	486.1688716

Si el aire de combustión es precalentado. Este aporta con su calor sensible directamente a la combustión al igual que el poder calórico inferior (P.C.I.) del combustible.

$$q_a = 1110.3116 \text{ kcal/kg de combustible} \quad ; \quad P.C.I. = 10198.819 \text{ kcal/kg de combustible}$$

Por esta razón el ahorro del combustible es del 10.9% del consumo al precalentar el aire comburente a 250°C; Se tiene que el consumo de combustible, con las mejoras debidas del horno es

$$m_{cmb1} = 3603.123911 \text{ lb/h} = 486.1688716 \text{ gal/h}$$

La utilización de aire comburente calentado a 250°C, el consumo final de combustible será:

$$m_{Cmb2} = 3206.780281 \text{ lb/h} = 433.1764646 \text{ gal/h}$$

4. CONCLUSIONES:

- Habiéndose realizado la auditoria aplicando el método que sugiere el Manual de Auditoria Energética del CENTRO PARA EL AHORRO Y DESARROLLO ENERGÉTICO Y MINERO (CADEM) de México, en el horno PH-1 (300189) y, realizados los cálculos técnicos para solucionar los problemas que se detectaron, se concluye que las principales causas de pérdida de energía en el horno se deben básicamente a tres problemas:
- Sobre carga de crudo, actualmente el horno trabaja con una sobrecarga de 3000 barril/día más que lo sugerido en los diseños de fábrica que dice que el horno debe trabajar con una carga máxima de 20000 barril/día, esto afecta el rendimiento del horno en un 10% además, de disminuir su vida útil.
- Defectuosa combustión producida por:
- Los quemadores del horno (boquillas atomizadoras), presentan daños y problemas en la atomización del combustible lo que deforma la llama causando un impacto de esta contra los tubos deteriorando los mismos.
- El problema de impacto de llama contra los tubos se controla manipulando la entrada de aire comburente, trabajando con exceso de aire de combustión de $\alpha = 136$, lo que causa una pérdida del 4% en el consumo del combustible, pudiéndose solucionar al disminuir el exceso de aire comburente a $\alpha = 120$.
- Al trabajar con excesos de aire elevado 0.36% aumenta las pérdidas por chimenea, ya que incrementa el volumen de gases que salen a 550°C, lo que corresponde una pérdida energética de 21572716.35 Btu/h = 6322 KW.
- Deterioro del aislamiento térmico en las paredes: Se ha determinado por termo-grafía, y comprobado en un paro de planta, el estado crítico en algunas áreas, lo que conlleva una pérdida de energía de 2084804.419 Btu/h = 610.9635 KW, pudiéndose disminuirlo a 1182365.528 Btu/h = 346.5 KW, si el aislante térmico fuera cambiado.

5. BIBLIOGRAFÍA:

- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Eficiencia Energética. Quito: Mariscal. 2000. pp. 39 – 95.
- BORROTO, A. Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor. Cuba: Universidad de Cienfuegos. 2005. pp. 61 – 75.
- DANIEL YERGIN, La Historia del Petróleo, Barcelona, Plaza & Janés, 1992.
- J. ALARCON, Energía Y Tecnología En La Industria, “Elementos para un análisis crítico”, Madrid. 1979.
- J. L. BESCANS, A. GOMIS Y J. M. PRIETO, Posibilidades De Ahorro De Energía En Hornos De Refinería, Madrid 1976.
- P. WUITHIER, El Petróleo Refino Y Tratamiento Químico, Barcelona, Plaza & Janés, 1986.
- H. L. FRANZEI, Reducción De Los Consumos De Energía En Las Refinerías, Oil-Gas, 1976.
- WASHINGTON STATE UNIVERSITY. Energy Audit Workbook. United States of America: CEEP. 2003. pp. 1 – 4.
- BORROTO, A. Gestión Energética Empresarial. Cuba: Universidad de Cienfuegos. 2002. pp. 53 – 56, 87 – 98.
- DIAZ Rodrigo. Motores de combustión interna. Editorial Pedagógica Freire. Riobamba 1987.
- HOLMAN J. P. Transferencia de calor. Editorial continental, México 1991.

INE, Folletos y recopilaciones del instituto nacional de energía.

KREITH Frank, Principios de transferencia de calor. Herrera Hermanos, S. A. México 1978.

MARKS, Manual del ingeniero mecánico, Volumen I. 5ta.Ed. Mc Graw-Hill, México 1999.

MASANA Tardá José, Ventiladores y turbocompresores. Marcombo, Barcelona 1966.

MATAIX Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Cámara Nacional de la Industria, México 1982.}

MISSEEV M. A., MISEEVA I. M., Fundamentos de termo transferencia. Mir Moscú 1979.

PERRY Jhon H., Manual del ingeniero químico Tomo I, 4ta. Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc U.S.A. 1974.

POMERAUSEV V., Fundamentos prácticos de la teoría de la combustión. Mir. Moscú.

SALVI Giuliano, La combustión teoría y aplicaciones. Dossat, S.A.

UOP, (Universal Oil Products), Engineering Design Seminar, Fired Heaters, 1997.

CASTILLO Percy, Ahorro de energía en procesos de refinación, Exposición 2003.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. Energy Statistics Manual. 2da. Ed. Francia: OECD. 2000. pp. 18 – 23

Combustión																			
O2 (%)	0,0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CO2 + SO2 (%)	16,6	15,8	15	14,2	13,4	12,6	11,8	11	10,2	9,4	8,7	7,9	7,1	6,3	5,5	4,7	3,9	3,1	2,3
Exceso de aire	1	1,05	1,1	1,15	1,23	1,3	1,38	1,48	1,59	1,72	1,87	2,06	2,29	2,57	2,94	3,43	4,12	5,17	6,86
Gases (Kg/kg)	13,9	14,6	15,2	16	16,9	17,8	18,9	20,1	21,6	23,3	25,2	27,6	30,6	34,2	39	45,4	54,3	68	93,3
Temp. Gases (°C)																			
25	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
50	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,2	12,2
75	19,1	19	19	19	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,6	18,6	18,6	18,5	18,5	18,4	18,4	18,3
100	25,5	25,4	25,4	25,3	25,3	25,2	25,2	25,1	25,1	25	24,9	24,9	24,8	24,7	24,7	24,6	24,6	24,5	24,5
125	31,9	31,9	31,8	31,8	31,7	31,8	31,6	31,5	31,4	31,4	31,3	31,2	31,1	31,1	31	30,9	30,9	30,8	30,7
150	38,4	38,4	38,3	38,2	38,1	38,1	38	37,9	37,8	37,7	37,6	37,6	37,4	37,3	37,2	37,1	37,1	37	36,9
175	45	44,9	44,8	44,7	44,6	44,5	44,4	44,3	44,2	44,1	44	43,9	43,8	43,7	43,6	43,5	43,4	43,3	43,2
200	51,5	51,4	51,3	51,2	51,1	51	50,9	50,8	50,7	50,5	50,4	50,3	50,2	50,1	50	49,8	49,7	49,6	49,4
225	58,1	58	57,9	57,8	57,6	57,5	57,4	57,3	57,1	57	56,9	56,7	56,6	56,5	56,3	56,2	56	55,9	55,7
250	64,8	64,6	64,6	64,4	64,2	64,1	63,9	63,8	63,6	63,5	63,3	63,2	63	62,9	62,7	62,6	62,4	62,2	62,1
275	71,4	71,3	71,1	71	70,8	70,7	70,5	70,3	70,2	70	69,8	69,7	69,5	69,3	69,2	69	68,8	68,6	68,4
300	78,1	78	77,8	77,6	77,5	77,3	77,1	76,9	76,7	76,6	76,4	76,2	76	75,8	75,6	75,4	75,2	75	74,8
325	84,9	84,7	84,5	84,3	84,1	83,9	83,7	83,5	83,3	83,1	82,9	82,7	82,5	82,3	82,1	81,9	81,7	81,4	81,2
350	91,7	91,5	91,2	91	90,8	90,6	90,4	90,2	90	89,8	89,5	89,3	89,1	88,8	88,6	88,4	88,1	87,9	87,6
375	98,5	98,2	98	97,8	97,6	97,3	97,1	96,9	96,6	96,4	96,2	95,9	95,7	95,4	95,2	94,9	94,6	94,4	94,1
400	105,3	105,1	104,8	104,6	104,3	104,1	103,8	103,6	103,3	103,1	102,8	102,5	102,3	102	101,7	101,4	101,2	100,9	100,6
425	112,2	111,9	111,7	111,4	111,2	110,9	110,6	110,3	110,1	109,8	109,5	109,2	108,9	108,6	108,3	108	107,7	107,4	107,3
450	119,1	118,8	118,6	118,3	118	117,7	117,4	117,1	116,8	116,5	116,2	115,9	115,6	115,3	115	114,6	114,3	114	113,6
475	126,1	125,8	125,5	125,2	124,9	124,6	124,2	123,9	123,6	123,3	123	122,6	122,3	122	121,6	121,3	120,9	120,6	120,2
500	133	132,7	132,4	132,1	131,8	131,4	131,1	130,8	130,4	130,1	129,7	129,4	129	128,7	128,3	127,9	127,6	127,2	126,8
525	140,1	139,7	139,4	139	138,7	138,4	138	137,6	137,3	136,9	136,5	136,2	135,8	135,4	135	134,6	134,2	133,8	133,4
550	147,1	146,8	146,4	146	145,7	145,3	144,9	144,5	144,2	143,8	143,4	143	142,6	142,2	141,8	141,3	140,9	140,5	140,1
575	154,2	153,8	153,5	153,1	152,7	152,3	151,9	151,5	151,1	150,7	150,2	149,8	149,4	149	148,5	148,1	147,6	147,2	146,7
600	161,3	160,9	160,5	160,1	159,7	159,3	158,9	158,5	158	157,6	157,3	156,7	156,2	155,8	155,3	154,9	154,4	153,9	153,4
625	168,5	168,1	167,6	167,2	166,8	166,3	165,9	165,5	165	164,5	164,1	163,6	163,1	162,6	162,2	161,7	161,2	160,7	160,1
650	175,7	175,2	174,8	174,3	173,9	173,4	173	172,5	172	171,5	171	170,5	170	169,5	169	168,5	168	167,4	166,9
675	182,9	182,5	182	181,5	181	180,5	180,1	179,6	179,1	178,5	178	177,5	177	176,4	175,9	175,4	174,8	174,2	173,7
700	190,2	189,7	189,2	188,7	188,2	187,7	187,2	186,7	186,1	185,6	185	184,5	183,9	183,4	182,8	182,2	181,7	181,1	180,5
725	197,5	197	196,5	195,9	195,4	194,9	194,3	193,8	193,2	192,7	192,1	191,5	190,9	190,4	189,8	189,2	188,5	187,9	187,3
750	204,8	204,3	203,7	203,2	202,6	202,1	201,5	200,9	200,4	199,8	199,2	198,5	198	197,4	196,7	196,1	195,5	194,8	194,2
775	212,2	211,6	211,1	210,5	209,9	209,3	208,7	208,1	207,5	206,9	206,3	205,7	205	204,4	203,7	203,1	202,4	201,7	201
800	219,6	219	218,4	217,8	217,2	216,6	216	215,4	214,7	214,1	213,4	212,8	212,3	211,4	210,8	210,1	209,4	208,7	207,9
825	227	226,4	225,8	225,2	224,6	223,9	223,3	222,6	222	221,3	220,6	219,9	219,2	218,5	217,8	217,1	216,4	215,6	214,9
850	234,5	233,9	233,2	232,6	231,9	231,3	230,6	229,9	229,2	228,5	227,8	227,1	226,4	225,6	224,9	224,1	223,4	222,6	221,8
875	242	241,4	240,7	240	239,3	238,6	237,9	237,2	236,5	235,8	235	234,3	233,4	232,6	232	231,2	230,4	229,6	228,8
900	249,6	248,9	248,2	247,5	246,8	246	245,3	244,6	243,8	243,1	242,3	241,5	240,7	240	239,2	238,3	237,5	236,7	235,8
925	257,2	256,4	255,7	255	254,2	253,5	252,7	252	251,2	250,4	249,6	248,8	248	247,2	246,3	245,5	244,6	243,8	242,9
950	264,8	264	263,3	262,5	261,7	261	260,2	259,4	258,6	257,8	256,9	256,1	255,2	254,4	253,5	252,6	251,8	250,9	249,9
975	272,4	271,7	270,9	270,1	269,3	268,5	267,7	266,8	266	265,1	264,3	263,4	262,5	261,6	260,7	259,8	258,9	258	257
1000	280,1	279,3	278,5	277,7	276,9	276	275,2	274,3	273,4	272,6	271,7	270,8	269,9	268,9	268	267,1	266,1	265,1	264,2

6. ANEXOS E: Determinación del caudal de los humos y su entalpía por medio del %O y/o su exceso de aire