



**INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

**PR IAPG-SC-12-2015-00**

## **Seguimiento Energético de Hornos de Proceso**

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

### 1. Notas Especiales

- Por tratarse de una Práctica Recomendada (PR) las acciones, modalidades operativas y técnicas en ellas incluidas, carecen de contenido normativo, legal o interpretativo, y no resultan obligatorias ni exigibles por terceros bajo ninguna condición.
- No podrán ser invocadas para definir responsabilidades, deberes, ni conductas obligatorias para ninguno de los sujetos que las utilice, ya que sólo integran un conjunto de consejos para el mejoramiento de las operaciones comprendidas.
- La adopción de una PR no libera a quien la utilice del cumplimiento de las disposiciones legales nacionales, provinciales y municipales, como así tampoco de respetar los derechos de patentes y /o propiedad industrial o intelectual que correspondieren.
- El IAPG no asume, con la emisión de esta PR, la responsabilidad propia de las Compañías, sus Contratistas y Subcontratistas, de capacitar, equipar o entrenar apropiadamente a sus empleados. Asimismo el IAPG no releva ni asume responsabilidad alguna en lo que respecta al cumplimiento de las Normas en materia de salud, seguridad y protección ambiental.
- Toda cita legal o interpretación normativa contenida en el texto de esta PR no tiene otro valor que el de un indicador para la conducta propia e interna de quienes voluntariamente la adopten o utilicen, bajo su exclusiva responsabilidad.
- El IAPG quiere llamar la atención de quienes adopten la presente Práctica Recomendada para que se adecue su utilización a la normativa ambiental que corresponda a su localización. En tal sentido, desea recordar que, tanto en el orden Nacional como en las Provincias Argentinas, existen estructuras normativas para la protección del ambiente que se ocupan – conforme a su competencia - del funcionamiento de los hornos de proceso, de sus presiones de operación y eventualmente del destino los residuos de los procesos de combustión. En consecuencia, quiere llamar la atención por la observancia rigurosa de los parámetros normativos que regulan tales aspectos.
- La presente PR fue aprobada en la reunión de Comisión Directiva, celebrada en Sede Central, el xx de xxxxxxx de 20xx

**Seguimiento Energético de Hornos de  
Proceso**

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

## **INDICE**

1. **OBJETIVO**
2. **ALCANCE**
3. **DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**
4. **DESARROLLO**
5. **DOCUMENTOS DE REFERENCIA**
6. **RESPONSABILIDADES**
7. **REGISTROS**
8. **ANEXOS**

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

### 1. OBJETO

El objetivo de este documento es agrupar en forma ordenada y sistemática de los indicadores claves para la optimización energética de Hornos de Proceso.

### 2. ALCANCE

El contenido de este documento es aplicable a todo tipo de Hornos que se encuentren instalados en refinerías, plantas químicas y petroquímicas. Pudiendo ser adaptable para cada caso particular.

### 3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

**Acometidas al horno:** Todas las líneas de procesos que ingresan y egresan al horno.

**Aire “parásito:** todo aire que ingresa al horno por otro lugar que no sea el quemador, debido, que adentro del horno hay menor presión (ver Tiraje). También se lo denomina “infiltración de aire”.

**Aislación:** se refiere a materiales para aislar térmicamente partes del horno y tubos, sea refractario, mantas cerámicas, etc.

**Arco:** Parte superior de la zona radiante, donde empieza el escudo. Los gases calientes comienzan a acelerarse hacia la zona de convección.

**Boquilla:** parte del quemador donde sale el combustible (gas o líquido) para mezclarse con aire y producir la combustión

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

**Calor liberado:** Calor total entregado al horno por la combustión en el o los quemadores. Es igual a la masa de combustible multiplicado por el poder calorífico inferior.

**Carcasa (Casing):** Es la envolvente metálica del horno, usualmente de acero al carbono. La carcasa se protege de los gases calientes internos por aislante térmico. La carcasa debe ser hermética de manera de evitar infiltraciones de aire parásito hacia el interior del horno.

**Curva de capacidad (del quemador):** gráfica que correlaciona calor liberado por el quemador (normalmente en las ordenadas) con la presión del combustible (en abscisa). Se utiliza para saber la cantidad de calor / tiempo (Potencia: Kcal/h, Btu/h, W, etc.) que está entregando el quemador a la presión del combustible (normalmente medida)

**Dámper:** Compuertas que permiten regular el caudal de aire que ingresa a la cámara de combustión y de los gases de combustión que egresan por la chimenea. Su función principal es regular el tiro dentro del horno.

**Duty:** El calor total absorbido por el fluido de procesos. El Duty total del horno es la suma de cada uno de los calores absorbidos en las diferentes secciones del horno, incluyendo los fluidos auxiliares que se calientan como sobrecalentamiento de vapor. También se aplica a Duty radiante, Duty del escudo y Duty convectivo a los calores absorbidos por el proceso en las zonas radiante, escudo y convección respectivamente.

**Eficiencia térmica:** relación entre calor (o potencia) absorbida y calor (o potencia) entregada.  $\text{Eficiencia} = \text{Duty} / \text{Calor Liberado}$ .

**Exceso de O<sub>2</sub>:** Es el porcentaje de oxígeno en exceso, presente en la combustión, respecto al necesario estequiométrico para lograr una combustión completa.

**Escudo:** Primeras dos o tres filas (según bibliografía/diseñadores) de tubos de la zona convectiva más próxima a la zona radiante. Los Tubos son lisos y la ubicación en

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

tresbolillo permite proteger de la radiación el resto de los tubos de zona convectiva (generalmente con superficie extendida). Los tubos del escudo están expuestos a radiación directa de gases y llama de la zona radiante del horno.

**Fibra cerámica:** tipo de aislante interno del horno, generalmente tipo manta, sustituto del refractario. Se utiliza como aislante térmico y reflectivo de las paredes del horno.

**Refractario:** Material utilizado en las paredes internas y piso de los hornos que posee propiedades aislantes y reflectivas.

**Mirilla:** aberturas de observación ubicadas en las paredes y en algunos casos en el techo para la observación del hogar (refractarios, tubos y soportes). En algunos casos las mirillas están protegidas por vidrio termorresistente.

**Mufla:** parte del quemador construido de material refractario.

**Poder calorífico Inferior (PCI, LHV):** El PCI (*LHV - Lower Heating Value*), es el calor teórico de combustión de un combustible en el cual el agua formada está en fase gaseosa, también conocido como calor de combustión neto (NCV – Net Calorific Value).

**Poder calorífico Superior (PCS, HHV):** El PCS (*HHV - Higher Heating Value*), es el calor teórico de combustión de un combustible en el cual el agua contenida y/o formada resulta también condensada aportando su calor adicional hasta la condensación, también conocido como calor de combustión bruto (GCV – Gross Calorific Value).

$$PCS = PCI + x \cdot \Delta H_{vap} \cdot H_2O.$$

**Puertas contraexplosión:** puertas basculantes ubicadas en las paredes del horno con determinada área construidas con el propósito de liberar presiones en caso de aumento brusco de la presión interna en el hogar. Las mismas permanecen cerradas en operación y no debe existir impedimento para su correcta apertura en caso de un aumento brusco

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

de la presión interna en el hogar. Se ubican en la parte superior del sector de radiación del horno, y en la definición de su orientación final deben ser consideradas las plataformas de operación y mantenimiento del horno.

**Quemador:** Equipo encargado de introducir una cantidad de combustible y aire simultáneamente al horno, a una velocidad, turbulencia y concentración deseada, para establecer y mantener una mezcla, ignición y combustión apropiada.

**Paso (pass):** Cada una de las secciones del serpentín en las que se divide, en paralelo, al fluido de procesos. La carga total de fluidos es la suma del caudal por cada paso.

**Soplador de hollín:** Equipo mecánico que consiste en una lanza de vapor rotativa o retráctil. Estos equipos son dispuestos en el banco de convección (has convectivo) para barrer mecánicamente, con flujo de vapor, cenizas y hollín que puedan acumularse en los tubos.

**Termopar o termocupla:** Dispositivo para medir temperaturas dentro del horno. Se construye por la unión de dos metales específicos el cual genera una diferencia de tensión eléctrica proporcional a la temperatura que mide.

**Tiraje o tiro:** es la presión negativa (vacío) que se genera dentro del horno. Este vacío permite el ingreso de aire al hogar y evita que los gases calientes escapen por otro lado que no sea la chimenea. Normalmente se expresa en milímetros o pulgadas de columna agua (mmCA).

**Zona convectiva:** Parte del horno constituido por un banco de tubos, que recibe calor de los gases de combustión después que los mismos abandonan la zona radiante. El calor transferido de los gases a los tubos es principalmente por convección (con excepción de las primeras filas de tubos lisos que también reciben calor por efecto de la radiación. Los tubos usualmente son de superficie extendida.

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

**Zona radiante:** Parte del horno en el cual el calor se entrega al proceso (lado tubos) fundamentalmente por la radiación de los gases de combustión y la/s llama/s del/los quemador/es.

## 4. DESARROLLO

### 4.1 Inspección Operativa Periódica

La buena práctica en la operación de hornos recomienda el monitoreo de ciertos parámetros para determinar si el equipo está funcionando de acuerdo a la performance de diseño u objetivo.

#### a- Carga Total (Caudal total del fluido de proceso)

El caudal total circulado y las temperaturas de entrada y salida nos dicen cuál es el requerimiento térmico puntual que se demanda al horno.

En caso que el equipo posea más de un paso y no tenga medición individual, se tomará la carga total, con la precaución de observar que la distribución sea uniforme.

#### b- Temperatura entrada/salida de carga total

Las temperaturas de entrada y salida de la corriente que es calentada en el horno determinan la carga térmica del mismo. El duty del horno se determina haciendo un balance térmico basado en el caudal másico circulado y las entalpías calculadas a las temperaturas y presiones de entrada y salida de la corriente.

Ambas temperaturas, de entrada y salida de la carga deben tener registro continuo para saber si el horno está operando de acuerdo a los parámetros de diseño.

En caso que el equipo posea más de un paso, se tomará la temperatura de un punto único de salida total, con la precaución de observar que la distribución sea uniforme.

#### c- Presión entrada/salida de carga

La caída de presión de cada paso debe monitorearse en conjunto con los caudales parciales circulados y con las temperaturas de salida, para detectar en forma temprana cualquier bloqueo del paso que a la larga terminaría por dañar los tubos. Es importante notar si alguno



## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

de ellos exhibe mayor pérdida de carga ( $\Delta P$ ) ya que podría estar obstruido parcialmente por carbón o excesiva vaporización.

### d- Caudal consumo combustibles

El caudal de combustible consumido por el horno es un parámetro de control que debe registrarse continuamente. El caudal de combustible, junto con el poder calorífico (relacionado con la composición) determina el calor liberado en el equipo y la eficiencia térmica del mismo, considerando el duty y las pérdidas de calor a través de los gases de combustión y la estructura del horno.

El monitoreo del consumo de combustible le indica al operador que cambios están ocurriendo en el equipo.

### e- Presión de combustibles en el quemador

Deberá tomarse en la entrada misma al quemador y no en el colector general, aguas arriba de la válvula de control, ya que se utiliza para verificar si el valor medido está dentro de los límites de mínima y máxima capacidad del quemador, establecidos en la curva de capacidad entregada por el fabricante.

### f- Temperatura de combustibles líquidos

Verificar a qué temperatura debe calentarse el combustible líquido, para alcanzar la viscosidad recomendada por el fabricante de quemadores y tener así una buena atomización y combustión.

No sólo es necesario que el combustible líquido tenga la temperatura acorde para alcanzar la viscosidad recomendada, sino también es necesario que el vapor o aire de atomización sea de la calidad recomendada. Siempre el vapor debe ser seco o sobrecalentado.

### g- Diferencial de presión vapor/aire de atomización a quemadores

Deberá tomarse en la entrada misma al quemador y no en colector general de vapor/aire aguas arriba de la válvula de control, ya que se utiliza para verificar con la curva de capacidad de combustible líquido del fabricante, si el valor medido es el indicado por el fabricante del quemador.

### h- Temperatura de piel de tubos

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

Los valores de referencia serán en base al diseño o indicados por un especialista en materiales.

Se verificarán todos los puntos disponibles de medición, observando que estén por debajo de la máxima temperatura admisible.

Se deben detectar en forma temprana errores de medición debido al mal funcionamiento de termopares

Si los termopares no funcionan de buena manera o se duda de su funcionamiento se recomienda realizar el monitoreo de la temperatura de piel de tubos a través de termografías.

### i- Exceso de O<sub>2</sub> en combustión

Una manera de maximizar la eficiencia térmica es controlando el exceso de O<sub>2</sub> de la combustión.

El punto de muestreo óptimo más recomendable sería la salida de gases de la zona radiante, debido a que es posible que ingresen corrientes de aire “parásito” (no participan de la combustión) a través de la zona convectiva. De esta manera, se minimiza la posibilidad de que la interpretación del análisis de oxígeno sea errónea, concluyendo en un mayor exceso de O<sub>2</sub> falso.

El no monitorear éste parámetro reduce el nivel de seguridad operativa del equipo de las personas y del medio ambiente ya que podría estar generándose una combustión incompleta (exceso de O<sub>2</sub> nulo o muy bajo). En segundo término, elimina la posibilidad de realizar una sintonía fina del lazo de combustión para obtener el mínimo exceso de O<sub>2</sub> recomendado en los gases de combustión y optimizar el consumo de combustible.

### j- Presión en el hogar - Tiraje en tope sección radiante

El tiraje debe medirse en la zona de mínimo tiraje, donde tiende a ser cero y antes del punto donde el horno pudiera presurizarse.

El tiraje mínimo admisible en el punto de mínimo tiraje (tope de zona radiante), debe ser -2.5 mmCA (valor de diseño recomendado por la norma API 560). Igualmente el valor de referencia debe ser el indicado en la hoja de datos del horno y definido por el diseñador/fabricante.

El tiraje en el tope de zona radiante y el porcentaje de O<sub>2</sub> en la zona de combustión son los principales parámetros para el control de la operación de un horno y por tanto merecen medición y registro continuos.

### k- Temperatura de Arco

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

La temperatura de “bridgewall” o temperatura del “Arco” es la temperatura de los gases de combustión que salen de la zona radiante. Esta temperatura está en función principalmente de la densidad promedio de calor radiante, el promedio de la temperatura de metales de la zona radiante y la forma básica del horno. También es función del tipo de combustible, el exceso de aire, la temperatura del aire de combustión, y el espaciamiento de los tubos radiantes.

Temperaturas de Arco por arriba del máximo permitido pueden acarrear problemas mecánicos en tubos, soporte de tubos y excesiva transferencia de calor en tubos del escudo radiante, como así también, puede dar aviso de presencia de post combustión y/o largos de llama excesivos. Impacta directamente en la confiabilidad del equipo

### I- Temperatura de gases de chimenea

Esta temperatura indica el contenido entálpico de los gases de combustión del horno. Es una variable crítica para medir la eficiencia del equipo dado que representa una gran parte del calor que se pierde. Cuanto mayor sea la misma, menor será la eficiencia y viceversa.

Conviene compararla regularmente con el valor de diseño para investigar los motivos de un eventual incremento en el consumo de combustible así como para prever algunos problemas que podrían ocurrir en el equipo, por ejemplo:

- Ensuciamiento externo de tubos en zona convectiva.
- Ensuciamiento interno de tubos.
- Cambio de alguna variable del proceso (mayor  $\Delta T$  en carga).
- Operación de Horno con mucho tiraje.
- Otros.

El monitoreo y análisis de la temperatura de chimenea proporciona información útil para mantener/incrementar la eficiencia operativa y asegurar una buena operación del equipo.

### m- CO (monóxido de carbono) en gases en chimenea

Si hay suficiente  $O_2$  y un mezclado eficiente, el carbono y el oxígeno reaccionan formando dióxido de carbono ( $CO_2$ ), de modo que si se detecta la presencia de CO, existe en el quemador un defecto de oxígeno y/o un mezclado deficiente.

La medición de CO se realiza comúnmente en la chimenea del horno, cumpliendo con las disposiciones legales, en base a exigencias de organismos de control.

De todos modos los valores límites que no deben superarse son los definidos por los organismos de control (generalmente establecidos según tipo de combustible).

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

### n- Dámper de chimenea

Se chequeará el % de apertura.

También se deberá consultar al personal de operaciones sobre el funcionamiento del Dámper (bueno, malo, regular, con problemas, etc.) y se asentará en observaciones. Con el tiempo suelen quedar bloqueados/averiados (por problemas de corrosión, suciedad, etc.) lo cual llevará a un mal funcionamiento general del horno.

### o- Patrón de llama

Se deberá observar:

- Altura de la llama
- Ancho de llama
- Inclinación
- Estabilidad
- Distancia entre llama y tubos
- Uniformidad de llama entre quemadores

### p- Boquillas (Gas y/o combustible líquido)

Se observará que las mismas produzcan la uniformidad y/o distribución de llama en todas ellas, con una correcta dirección, observando que no exista obstrucción en sus orificios, y el estado superficial de las mismas, y que puedan generar daños sobre alguna parte del quemador o del horno.

### q- Pilotos

Deberá asegurarse que estén siempre encendidos (cuando el quemador este en servicio), con una llama firme, intensa y uniforme (similar a un soplete).

El piloto es el primer elemento de seguridad en el quemador.

### r- Registros de aire del quemador

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

Los registros de aire del quemador sirven para regular el aire de la reacción de combustión y por ende para realizar el ajuste fino del exceso de O<sub>2</sub> de la combustión.

Se debe verificar que todos los registros de aire de todos los quemadores estén abiertos de igual forma con igual tipo y flujo de combustible.

También se deberá verificar Operabilidad de los mismos.

### s- Muflas

Se debe verificar el estado de los bloques, prestando especial atención a juntas de unión entre estos y posición.

Es importante observar la uniformidad en la coloración de los bloques refractarios, ya que se puede identificar, por ejemplo, si las boquillas no estuvieran correctamente posicionadas o estuvieran obstruidas.

### t- Estado de los tubos

Es importante observar la presencia de suciedad o cascarillas.

Se debe observar la uniformidad del color o existencia de puntos calientes, como así también deformaciones.

### u- Estado de soportes de tubos

Debe observarse uniformidad en su color, lo que indica una buena distribución del calor, que a elevadas temperaturas va del color rojo oscuro al color rojo brillante o anaranjado.



Sangre oscuro / Marrón

*Black Red / Dark blood Red*

Rojo muy Oscuro / rojo

990°F / 532°C



Sangre

Rojo Oscuro / rojo

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

*Dark Red / blood Red/ low red*

1050°F / 566°C



Rojo Cereza Oscuro

*Dark Cherry Red*

1175°F / 635°C



Rojo Cereza / carmín

*Cherry Red*

1375°F / 750°C



Rojo cereza Claro / rosa

*Light Cherry Red / Light Red*

1550°F / 850°C



Anaranjado

*Orange*

1650°F / 900°C



Anaranjado claro

*Light Orange*

1725°F / 950°C



Amarillo

*Yellow*

1825°F / 1000°C



Amarillo claro

*Light Yellow*

1975°F / 1080°C



## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:



*White*

Blanco

2200°F / 1200°C

### v- Aislación

El estado de la misma reviste importancia, por las pérdidas de calor que se producen en todo el cuerpo del equipo.

Se debe verificar el estado general de la aislación interior (refractario, manta cerámica, etc.) y exterior (principalmente en acometidas al horno).

Si se observa en el exterior del horno pintura quemada, esto da indicios que la aislación interna se deterioró y se debe corroborar con mediciones puntuales de temperatura (utilizar pirómetro o hacer termografías).

En zonas de acceso rutinario del personal es importante que este en buenas condiciones por cuestiones de seguridad.

### w- Aire parásito

Observar que se minimice el ingreso de aire dentro del horno en localizaciones por las cuales no debería, ya que desde el punto de vista energético, estas influyen en el valor medido de exceso de O<sub>2</sub> en la combustión (resulta una medición errónea) y por ende en el cálculo de eficiencia del equipo. También puede llevar al ajuste erróneo del lazo de combustión con posibilidad de generar una situación no segura (defecto de O<sub>2</sub>)

Se deben verificar: puertas contraexplosión, mirillas, acometidas al horno, etc.

### x- Carcasa (cubierta exterior)

Observar deformaciones y posibles daños en chapas de coberturas y/o puntos calientes, que denoten un daño prematuro en la aislación del interior/exterior del equipo.

### y- Sopladores de hollín

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

Se relevará la cantidad de equipos instalados en funcionamiento y se comparará con la cantidad de equipos que deberían estar instalados y operables.

## 4.2 Pruebas Particulares

### a- Test para determinación de mínima capacidad de O<sub>2</sub> en Hornos

#### Alcance

Esta práctica aplica a todos los hornos que posean analizador de oxígeno continuo.

#### Objetivos

- Establecer un nuevo target de O<sub>2</sub> basado en el mínimo nivel de O<sub>2</sub> llevado a cabo en el test y en la variación histórica del O<sub>2</sub>.
- Cuantificar incentivos por llevar a cabo el nuevo objetivo
- Cuantificar incentivos por facilidades adicionales
- Confirmar que el analizador se encuentra en la posición correcta y no está influenciado excesivamente por infiltraciones de aire o mal distribución de flujo.

#### Guía operativa del Test

**Importante:** el test debe ser llevado a cabo por un especialista con experiencia en la materia, prever los procedimientos a emplear en caso de ahogo del horno.

1- Confirmar las siguientes condiciones:

- Quemadores en buenas condiciones mecánicas y de limpieza
- Asegurar correcto funcionamiento de instrumentos asociados al test
- Tiraje al mínimo y estable posible (en zona del Arco -2.5 mm CA)
- Condiciones de proceso estable, CIT, COT, Alimentación



## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

- Condiciones de quemado estable
- Nivel "Típico" de Oxígeno estable
- Operación de quemadores balanceada
- Inspección visual de la zona radiante para determinar una combustión aceptable

***Cuando se asuma el cumplimiento de estas condiciones tomar nota del horario y comenzar con las mediciones de emisiones gaseosas en entrada a zona convectiva con equipo de medición portátil de al menos, oxígeno, monóxido de carbono y temperatura (analizador de gases de combustión tipos Testo o equivalente).***

- 2- Comenzar a bajar el porcentaje de exceso de  $O_2$  en el analizador fijo en intervalos de 0.5% (corrija el tiraje al valor objetivo, esto también modificara el valor de oxígeno), esperar entre 15-30 minutos la estabilización del horno. Tomar nota de los datos y las mediciones de emisiones y realizar una inspección visual del estado de la combustión en el horno. Tener presente las características de cada combustible para definir el exceso de aire mínimo.
- 3- Repetir el paso descrito anteriormente disminuyendo el  $O_2$  en escalones más pequeños hasta llegar a 1.5% de oxígeno o "breakthrough" (ver Notas) y/o aparición de llamas erráticas, inestables o tamaños inaceptables en quemadores. Si la combustión y las llamas son aceptables y no hay combustibles en los gases de chimenea con 1.5% de  $O_2$ , repetir los pasos anteriores 3 a 4 veces bajando a intervalos de 0.2% hasta llegar a la "breakthrough" y/o aparición de llamas erráticas e inaceptables en quemadores.
- 4- Por arriba del "breakthrough" y/o aparición de llamas erráticas, inestables o tamaños inaceptables en quemadores, aumentar el  $O_2$  en 0.5%. Continuar monitoreando la performance de la combustión mediante el analizador portátil e inspección visual para verificar que no se produzca "ruptura de la combustión" y llamas inaceptables.
- 5- Luego de 30 minutos sobre esta condición, documentar todas las condiciones incluyendo la lectura del analizador portátil. Esto establece la mínima capacidad de  $O_2$  en esta razón de quemado.
- 6- Retornar el equipo a las condiciones normales de operación.

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

- 7- Para establecer el objetivo de exceso de  $O_2$  de operación, al mínimo de  $O_2$  nombrado anteriormente se le suma la variación histórica, todo basado en el analizador permanente.

### **Nota:**

***Combustible breakthrough se llama al rápido incremento del contenido de combustibles no quemados en los gases de combustión, para quemado de gas aproximadamente sobre las 150 ppmv y para quemado de combustible líquido aprox. o combinado sobre las 500 ppmv.***

***Como regla general y sin ser absoluta, el valor de % de  $O_2$  para el cual se produce el breakthrough es inferior cuando se quema un combustible gaseoso que cuando se quema un combustible líquido.***

### **b- Determinación de entradas parásitas de aire con el Horno en operación**

Muchas veces es dificultoso realizar una prueba de humos para detectar las filtraciones de aire parásito por varias cuestiones:

- Tamaño del equipo
- Falta de estanqueidad
- Dificultad para generar presión positiva
- Tiempos de parada
- Costos asociados a los tiempos de parada
- Etc.

Generalmente las mayores infiltraciones surgen en la zona convectiva debido a la cantidad de juntas y entradas y salidas pasa tubos. Como medida inicial se puede tomar como lineamiento guía medir con un analizador portátil el  $O_2$  en la entrada de la zona convectiva y a la salida, si la diferencia es mayor a 1% se considera que es necesario realizar una inspección de filtraciones en la zona convectiva.

Es recomendable que se lleve a cabo con personal de inspección de equipos, verificando en forma visual las entradas de aire a través de juntas, fisuras, agujeros y pasa tubos con la ayuda de un plumón (sacado de un plumero). Al acercarse el plumón a una zona con infiltración de aire enseguida mostrará su inclinación hacia la corriente. De esta forma se van identificando todas estas zonas con aerosol de color, se sacan fotos y finalmente se

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

realiza un informe para su reparación con todas las recomendaciones que se crean oportunas.

Para la zona radiante se puede realizar el mismo procedimiento pero no tendremos disponible la diferencia de medición de O<sub>2</sub>.

También se puede identificar zonas de entradas parásitas de aire a través de la realización de termografías externas del equipo.

### c- Determinación de entradas parásitas de aire con el Horno F/S

#### Alcance

Esta práctica aplica a todos los hornos.

#### Objetivos

Identificar entradas parásitas de aire utilizando granadas de humo de señalización.

#### Consideraciones sobre Salud, Seguridad y Medio Ambiente

Las granadas de humo son latas fabricadas de aluminio y la protección del disparador de plástico, debiendo ser descartadas como material reciclable después de su uso.

Donde sea necesario el órgano ambiental deberá ser comunicado sobre la realización del test. Se debe aclarar que se trata de un test con producto no tóxico (humos de señalización). El humo anaranjado (u otro color) puede causar extrañeza en el vecindario.

Aunque el humo generado no sea tóxico, se debe evitar el contacto muy intenso para evitar posibles irritaciones de las vías respiratorias superiores o sofocamiento.

El disparo de las granadas debe ser realizado por personal capacitado utilizando los elementos de seguridad correspondientes. Al detonar la granada de humo, la misma deberá estar lejos del rostro de la persona que la dispara y con la salida de humo dirigida en sentido opuesto al mismo.

#### Procedimiento para la realización del Test de Humo

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

### - Frecuencia

Deberán ser hechos dos pruebas en los períodos de parada programada de planta para mantenimiento:

\* La primera será realizada apenas el horno haya sido puesto fuera de operación, antes de su liberación para mantenimiento, teniendo como objetivo identificar los puntos de entrada de aire que deberán ser reparados.

\* La segunda, deberá ser hecha después de que los servicios de mantenimiento hayan concluido, para garantizar la eficacia de los mismos.

La programación de las pruebas, así como el tiempo y los recursos necesarios para las reparaciones identificadas en las mismas, deberán integrar las Listas de Servicios de la Parada, elaboradas por los responsables de la Coordinación de Paradas Programadas de planta.

Pequeñas paradas eventuales deberán ser aprovechadas para la realización de Test de Humos, buscando detectar infiltraciones que puedan ser reparadas sin necesidad de entrar al equipo.

### - Recomendaciones

\* Realizar antes de la parada del horno una evaluación relativa a la existencia de entradas parásitas siguiendo lo indicado en el punto **b- Determinación de entradas parásitas de aire con el Horno en operación**

\* Iniciar el Test de Humo preferentemente por la mañana, para asegurar las mejores condiciones de luminosidad natural para identificación de las fisuras.

\* El equipo del test deberá estar previamente familiarizado con los procedimientos y accesorios que serán usados.

\* Los accesos al horno deberán estar limpios y con su libre acceso asegurado, de manera de garantizar el rápido y seguro desplazamiento del equipo que irá a realizar el test.

### - Ejecución

A continuación están representados los pasos para realizar el Test de Humos:

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

- \* El horno deberá estar con los registros de aire de los quemadores (tiraje natural) y mirillas de inspección totalmente cerradas.
- \* En hornos con múltiples quemadores prever tapas provisorias en los mismos (tiraje natural).
- \* Encender el ventilador de aire de tiro forzado (si la instalación del horno lo posee) y regular la presión de aire dentro del hogar hasta que las ventanas de explosión se abran. Actuar sobre el dámper del horno (cerrarlo).
- \* Reducir la presión del hogar hasta el punto de inminente apertura de las ventanas de explosión
- \* A la orden del coordinador, los detonadores deberán disparar al mismo tiempo sus granadas dentro de la cámara de radiación.
- \* Los observadores deberá identificar en los diseños y en el propio lugar, si fuera posible, el punto exacto de la fisura. Cada observador deberá identificar solamente los puntos de su área de actuación, de acuerdo a la definición previa.
- \* Los observadores que estuvieran con máquina fotográfica deberán ubicarse de tal manera que el escape de aire quede claramente evidenciado con respecto a un punto claro de referencia, registrando entonces cada punto de fuga de humo o del máximo de puntos que fuera posible.
- \* En caso de que el horno sea de tiraje natural, se podrá utilizar un ventilador de campo (normalmente usado como exhaustor en paradas) para garantizar que el circuito de humos esté con presión levemente superior a la presión atmosférica. En este caso será esencial cerrar los registros de aire de los quemadores y el dámper de control/sofocación.
- \* Para la instalación del ventilador se deberá retirar un quemador, ubicado al centro del hogar, aprovechando el período en que el horno estuviera siendo preparado para mantenimiento, apenas haya parado. En caso de que esta localización no sea viable, el soplador podrá ser adaptado en una entrada de hombre o ventana de explosión, de acuerdo con las características de cada equipo, considerando que el resultado del test será perjudicado en la pared en que sea instalado el soplador.

### - Características de la granada de Humo

Las siguientes son las especificaciones y rendimientos de la Granada de Humo:

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

- \* Señal fumígena fluctuante
- \* Humo de color anaranjado, denso y no tóxico;
- \* Tiempo de retardo de 2 a 3 segundos;
- \* Tiempo de humareda superior a 3 minutos;
- \* Número de granadas (1 para cada 200 m<sup>3</sup> de volumen del circuito de humos).

### d- Test de largo de llamas

A simple vista se observa aproximadamente  $\frac{2}{3}$  del largo real de las llamas. Para poder observar el tercio restante se utiliza una técnica muy sencilla, que es liberar pequeñas cantidades de bicarbonato de sodio en el registro de aire del quemador, generalmente de a uno por vez. Esto permite visualizar restos de post combustión, inclinación en llamas, interacciones llama-llama, circulación de los gases de combustión, etc.

## 5. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

API Standard 560

API Standard 530

API RP 535

API RP 573

API RP 556

## 6. RESPONSABILIDADES

La persona que realice la inspección del Horno aplicando como guía este instructivo debería dar una devolución de los principales hallazgos al personal operativo o responsable directo del equipo in situ.

Luego debería realizar un informe detallado con el análisis de los datos relevados y distribuirlo a:

## Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

Número: 01

Revisión: 00

Fecha: 22/10/2015

Revisado:

Aprobado:

Responsables de Operación: Gerentes, jefes, coordinadores y/o supervisores.

Responsables de Mantenimiento: Gerentes, jefes, ingenieros y/o técnicos.

Responsables de Inspección de Equipos: Gerentes, jefes, ingenieros y/o inspectores.

## 7. REGISTROS

Los registros de las verificaciones se realizarán con las planillas de relevamiento adjunta en ANEXOS.

## 8. ANEXOS

Planilla relevamiento: ver archivo [Check-list\\_rev05.xls](#)