



## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

**Nombre de la Tecnología:** Antorcha

Esto incluye a las antorchas elevadas, asistidas por vapor, asistidas por aire, no asistidas, asistidas por presión, y antorchas encerradas asentadas en el suelo.

**Tipo de Tecnología:** Destrucción por oxidación termal.

**Contaminantes Aplicables:** Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), con la excepción de los compuestos halogenados (*EPA, 1995: Environmental Protection Agency - la Agencia para la Protección del Ambiente en EE. UU.*).

### Límites de Emisión Alcanzable/Reducciones:

La eficiencia de destrucción de COV depende de una temperatura adecuada de la llama, el tiempo de residencia suficiente en la zona de combustión, y un mezclado turbulento (*EPA, 1992*). Una antorcha operada apropiadamente puede alcanzar una eficiencia de destrucción del 98 por ciento o mayor al controlar corrientes de emisión con contenidos de calor mayores de 11 *megajoules per standard cubic meter* ( $\text{MJ}/\text{sm}^3$  - megajoules por metro cúbico estándar ) (300 *British Thermal Units per standard cubic foot* (*Btu/scf* - unidades térmicas británicas por pie cúbico estándar)) (*EPA, 1995; AWMA, 1992: Air & Waste Management Association - la Asociación para el Manejo de Aire y Residuos de EE. UU.; EPA, 1992; EPA, 1991*).

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto

### Aplicaciones Industriales Típicas:

Las antorchas pueden ser utilizadas para controlar casi cualquier corriente de COV y típicamente pueden manejar grandes fluctuaciones en la concentración de COV, velocidad de flujo, valor de calentamiento, y contenido de especies inertes. El uso de las antorchas es apropiado para aplicaciones en corrientes de venteo continuo, variable y en grupos, pero el uso principal es como un dispositivo de seguridad utilizado para controlar un volumen grande de contaminante que sea el resultado de condiciones alteradas. Las antorchas encuentran su aplicación principal en las industrias del petróleo y petroquímicas. La mayoría de las plantas químicas y refinerías tienen sistemas de antorcha existentes diseñados para aliviar las alteraciones en los procesos de emergencia que requieren la liberación de grandes volúmenes de gas. Estas antorchas de gran diámetro están diseñadas para manejar descargas de emergencia, pero también pueden ser utilizadas para controlar las corrientes de venteo de varias operaciones de proceso. Los gases ardiados por antorcha provenientes de las refinerías, la producción de petróleo, y la industria química están compuestos mayormente de COV de peso molecular bajo y tienen valores de calentamiento altos. Las antorchas usadas para controlar gases de desecho provenientes de los altos hornos consisten de especies inertes y monóxido de carbono con un valor de calentamiento bajo. Los gases llameados por antorcha provenientes de los hornos de coque son intermedios en composición comparados a los otros dos grupos y poseen un valor de calentamiento moderado (*EPA, 1995; EPA, 1992*).

### Características de la Corriente de Emisión:

- a. **Flujo de Aire:** Las velocidades de flujo a través de la antorcha depende de las propiedades de la corriente de gas de desecho y de la configuración de la antorcha. Las antorchas asistidas por vapor, por aire y por presión añaden flujo a la corriente de desecho con el propósito de mejorar la estabilidad de la flama. En casos en que el valor de calentamiento del gas de desecho es demasiado bajo o demasiado alto, se debe añadir al flujo un combustible auxiliar o aire adicional, respectivamente. El flujo máximo a través de las antorchas disponibles comercialmente es de aproximadamente 500 *standard cubic meters per second* ( $m^3/s$  - metros cúbicos estándar por segundo) (1,060,000 *standard cubic feet per minute* (*scfm* - pies cúbicos estándar por minuto)), y el mínimo puede acercarse a un flujo de cero (*EPA*, 1995).
- b. **Temperatura:** La temperatura de descarga se encuentra típicamente dentro de un rango de 500°C a 1100°C (1000°F a 2000°F), dependiendo de la composición del flujo de gas de desecho (*AWMA*, 1992).
- c. **Carga de Contaminantes:** Dependiendo del tipo de configuración de la antorcha (ésto es, antorchas elevadas o en el suelo) y la fuente de la corriente de desecho, la capacidad de las antorchas para tratar gases de desecho puede variar hasta los 50,000 kg por hora (*kg/h*) (100,000 libras por hora (*lb/hr*)) de gases de hidrocarburo para antorchas en el suelo y aproximadamente un millón de *kg/h* (2 millones de *lb/hr*) o más para las antorchas elevadas (*EPA*, 1991). Las antorchas no están sujetas a las precauciones de seguridad en cuanto a una concentración alta de sustancias orgánicas en el gas de desecho. Esto es debido a que *flaring* (quemar al aire libre) es un proceso abierto de combustión y no posee una cámara encerrada de combustión que pudiera crear un ambiente explosivo, lo que requiere que la concentración del gas de desecho sea sustancialmente por debajo del nivel inflamable inferior (Límite Inferior Explosivo, o LIE) del compuesto específico que está siendo controlado para evitar el potencial de explosión (como regla, se usa un factor de seguridad de cuatro (esto es, el 25% del LIE)).
- d. **Otras Consideraciones:** La corriente de gas de desecho debe poseer un valor de calentamiento mayor de 11  $MJ/m^3$  (300 *Btu/scf*). Si este mínimo no es cubierto por el gas de desecho, se debe introducir un gas auxiliar en cantidad suficiente para completar la diferencia (*EPA*, 1995).

### Requisitos de Pre-tratamiento de la Emisión:

Los líquidos que pudieran estar presentes en el gas de la corriente de venteo o que pudieran condensarse dentro de las líneas de recolección y de transferimiento son removidas por un tambor de derrumbamiento. El tambor de derrumbamiento es típicamente un recipiente ya sea horizontal o vertical localizado en o cerca de la base de la antorcha, o un recipiente vertical localizado dentro de la base de la chimenea de la antorcha. El líquido en la corriente de venteo puede extinguir la flama o causar una combustión irregular y evolución de humo. Además, los líquidos llameados pueden generar un rocío de químicos ardiendo que pudiera alcanzar el nivel del suelo y crear un peligro de seguridad (*EPA*, 1995).

### Información de Costos:

Las antorchas elevadas típicas son principalmente dispositivos de seguridad que evitan las emisiones de grandes cantidades de hidrocarburos en crudo durante condiciones alteradas de la planta. Los costos de capital de los sistemas de antorcha elevada pueden variar entre los \$10,000 y \$3,000,000 en dólares de EE.UU., dependiendo de la aplicación (*González*, 1999). Los factores que controlan el costo de la antorcha son la estructura básica de soporte de la antorcha, el tamaño y la altura, y el equipo auxiliar. Otros factores que influyen el costo son el grado de sofisticación deseado (esto es, el control manual contra el

automático) y el número de accesorios seleccionados, tales como los tambores de derrumbamiento, sellos, controles, escaleras, y plataformas. El diámetro mínimo de una antorcha es de 2.5 cm (1 pulgada); el diámetro máximo de las antorchas disponibles comercialmente en la actualidad es de 2.3 m (90 pulgadas). (EPA, 1996).

Los costos de operación para una antorcha elevada depended mayormente del diseño de la antorcha (o sea, una antorcha asistida por vapor requerirá vapor), la velocidad de flujo (esto determinará el diámetro de la boquilla de la antorcha), y el valor de calentamiento del gas a ser controlado (esto será un factor en la determinación de la altura de la antorcha y la cantidad de gas natural auxiliar requerido para alcanzar la temperatura de destrucción deseada) (EPA, 1996).

A continuación se presentan los rangos de costo (expresados en dólares del 2002) para antorchas elevadas asistidas por vapor de diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, desarrollados utilizando los formatos de la EPA para estimación de costos (EPA, 1996) y referidos a la velocidad de flujo volumétrico de la corriente de desecho tratada. Los costos fueron calculados para antorchas con boquillas entre 2.5 cm (1 pulgada) y 2.3 m (90 pulgadas) de diámetro, quemando el 100 por ciento del gas combustible de desecho (sin aire) con un contenido calorífico de aproximadamente 4000 kilocalorías por metro cúbico (kcal/m<sup>3</sup>) (450 Btu por pie cúbico a condiciones estándares (Btu/scf)), y operadas entre 1 hora y 100 horas por año. Las antorchas en la parte baja de los rangos de capital, operación y mantenimiento, y costo anualizado tienen una capacidad de flujo más alta (de aproximadamente 90 m<sup>3</sup>/s o 190,000 scfm), con un diámetro de la boquilla de la antorcha de hasta 2.3 m (90 pulgadas), y operan 100 horas por año o más. Aquéllas en la parte alta de los rangos de costo tienen una capacidad de flujo menor (de aproximadamente 0.01 m<sup>3</sup>/s o 24 scfm), diámetros de la boquilla de la antorcha tan pequeños como 2.5 cm (1 pulgada), y operan menos de diez horas por año.

Debido a que las antorchas son sobre todo dispositivos de seguridad que tratan con flujos de corta duración (por lo general una condición alterada o liberación accidental proveniente de un proceso) más bien que un dispositivo de control que trata una corriente de desecho continua, no es del todo apropiado comparar la efectividad de costo de las antorchas a otros dispositivos de control. El costo por tonelada de contaminante controlado depende grandemente de las horas de operación anuales. El uso infrecuente de la antorcha (aproximadamente diez horas por año) resultará en un mayor costo por tonelada de contaminante controlado, mientras el uso más frecuente (aproximadamente 100 horas por año) está representado por los costos menores por tonelada de contaminante controlado en los rangos presentados a continuación.

- a. **Costo de Capital:** \$30,000 a \$2,000,000 por m<sup>3</sup>/s (\$15 a \$1,000 por scfm)
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$1,500 a \$130,000 por m<sup>3</sup>/s (\$1 a \$60 por scfm), anualmente
- c. **Costo Anualizado:** \$5,000 a \$350,000 m<sup>3</sup>/s (\$2 a \$165 por scfm), anualmente
- d. **Efectividad de Costo:** \$14 a \$6,400 por tonelada métrica (\$13 a \$5,800 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada por año de contaminante controlado.

### Teoría de Operación:

*Flaring* con antorcha es un proceso de control por combustión de COV en el cual los COV son conducidos por medio de tubería a una localidad remota, generalmente elevada, y quemados en una flama abierta al aire libre utilizando una boquilla de quemador diseñada especialmente, un combustible auxiliar, y vapor o aire para promover la mezcla para una destrucción casi completa (>98%) de los COV. La totalidad de la combustión en una antorcha está gobernada por la temperatura de la flama, el tiempo de residencia en la zona de combustión, el mezclado turbulento de los componentes de la corriente de gas para completar la

reacción de oxidación, y oxígeno disponible para la formación de radicales libres. La combustión es completa si todos los COV son convertidos a bióxido de carbono y agua. La combustión incompleta tiene como consecuencia que algunos de los COV no sean alterados o sean convertidos a otros compuestos orgánicos tales como aldehídos o ácidos.

Las antorchas se categorizan por lo general de dos maneras: (1) por la altura de la boquilla de la antorcha (esto es, al nivel del suelo o elevadas), y (2) por el método de mejorar el mezclado en la boquilla de la antorcha (esto es, asistidas por vapor, aire o presión, o no asistidas). La elevación de la antorcha puede evitar condiciones potencialmente peligrosas al nivel del suelo donde la flama abierta (o sea, la fuente de ignición) está localizada cerca de una unidad de proceso. La elevación de la antorcha también permite que los productos de combustión sean dispersados por encima de las áreas de trabajo para reducir los efectos del ruido, calor, humo, y olores indeseables.

En la mayoría de las antorchas, la combustión ocurre por medio de una flama de difusión. Una flama de difusión es aquella en la cual el aire se difunde a través del límite entre la corriente de combustible y la corriente del producto de combustión hacia el centro del flujo de combustible, formando la envoltura de una mezcla combustible alrededor de un núcleo de gas combustible. Esta mezcla, al encendido, establece una zona de flama estable alrededor del núcleo de gas sobre la boquilla del quemador. Este núcleo interno de gas es calentado por la difusión de los productos de combustión desde la zona de la flama.

El craqueo puede ocurrir con la formación de pequeñas partículas calientes de carbón que imparten a la flama su luminosidad característica. Si existe una deficiencia de oxígeno y si las partículas de carbón son enfriadas por debajo de su temperatura de ignición, se genera humo. En flamas grandes de difusión, se pueden formar vórtices de producto alrededor de las porciones encendidas del gas y obturar el suministro de oxígeno. Esta inestabilidad localizada causa la vacilación de la flama, el cual puede ser acompañado de la formación de hollín. Como en todos los procesos de combustión, se requiere un suministro de aire adecuado y un buen mezclado para completar la combustión y minimizar el humo. Los varios diseños de antorchas difieren principalmente en su realización del mezclado.

Las antorchas asistidas por vapor son boquillas de quemador individuales, elevadas sobre el nivel del suelo por razones de seguridad, que queman el gas venteado en una flama de difusión. De acuerdo a reportes, comprenden a la mayoría de las antorchas instaladas y son el tipo predominante de antorcha que se encuentra en las refinerías y plantas químicas. Para asegurar un suministro de aire adecuado y un buen mezclado, este tipo de sistema de antorcha inyecta vapor dentro de la zona de combustión para promover la turbulencia para el mezclado y para inducir al aire hacia dentro de la flama.

Algunas antorchas utilizan el aire forzado para proporcionar el aire para la combustión y el mezclado requerido para una operación sin humo. Estas antorchas son construidas con un quemador en forma de araña (con muchos orificios de gas pequeños) localizado dentro pero cerca de la parte superior de un cilindro de acero de 0.6 metros (24 pulgadas) o más de diámetro. El aire de combustión es proporcionado por un ventilador al fondo del cilindro. La cantidad de aire de combustión puede ser variada al variar la velocidad del ventilador. La ventaja principal de las antorchas asistidas por aire es que pueden ser utilizadas donde no hay vapor disponible. Aunque la asistencia por aire por lo general no se usa en las antorchas grandes (porque generalmente no es económico cuando el volumen de gas es grande), el número de antorchas grandes asistidas por aire que están siendo construidas va incrementando.

La antorcha no asistida consiste de una boquilla de antorcha sin alguna provisión auxiliar para mejorar el mezclado de aire hacia dentro de su flama. Su uso está limitado a las corrientes de gas que tienen un contenido bajo de calor y una proporción baja de carbón a hidrógeno y que, como resultado, arden fácilmente sin producir humo. Estas corrientes requieren de menos aire para su combustión completa, poseen temperaturas de combustión menores que minimizan las reacciones de craqueo, y son más resistentes al craqueo.

Las antorchas asistidas por presión utilizan la presión de la corriente de venteo para promover el mezclado en la boquilla del quemador. Varios vendedores ya ofrecen al mercado diseños de marca de boquillas de quemador con alta caída de presión. Si se encuentra disponible una presión suficiente de la corriente de venteo, estas antorchas pueden ser aplicadas a corrientes que previamente requerían asistencia de vapor o aire para una operación sin humo. Las antorchas asistidas por presión generalmente (mas no necesariamente) tienen el arreglo del quemador al nivel del suelo, y por consecuencia, deben ser colocadas en una área remota de la planta donde haya bastante espacio disponible. Poseen cabezas de quemador múltiples que están dispuestas para operar basándose en la cantidad de gas siendo liberada. El tamaño, diseño, número, y ordenación del grupo de cabezas de quemador dependen de las características del gas de venteo.

Las cabezas de quemador de una antorcha encerrada están situadas dentro de un caparazón que está aislado internamente. El caparazón reduce el ruido, la luminosidad, y la radiación de calor y proporciona protección contra el viento. Las antorchas encerradas, o asentadas en el suelo son usadas por lo general en vez de las antorchas elevadas por razones de estética o de seguridad. Una alta caída de presión en el inyector suele ser adecuada para proporcionar el mezclado necesario para una operación sin humo y no se requiere la asistencia de aire o vapor. En este contexto, las antorchas encerradas pueden ser consideradas como una clase especial de antorchas asistidas por presión o no asistidas. La altura debe ser adecuada para crear suficiente succión natural para suministrar el aire suficiente para una combustión sin humo y para la dispersión de la pluma termal. Estas antorchas siempre están al nivel del suelo.

Las antorchas encerradas generalmente tienen menos capacidad que las antorchas abiertas y son utilizadas para quemar corrientes continuas y de flujo constante, aunque una operación confiable y eficiente se puede lograr a través de un amplio rango de capacidad de diseño. Una combustión estable puede ser obtenida con gases de venteo con un menor contenido de calor de lo que es posible con diseños para antorcha abierta (1.9 a 2.2 MJ/m<sup>3</sup> (50 a 60 Btu/scf)), probablemente debido a su aislamiento de los efectos del viento. Las antorchas encerradas son utilizadas típicamente en rellenos sanitarios para destruir los gases del relleno (EPA, 1995).

### **Ventajas:**

Las ventajas de las antorchas sobre otros tipos de oxidantes de COV incluyen (EPA, 1992; EPA, 1991):

1. Pueden ser una manera económica de desechar descargas repentinas de cantidades grandes de gas;
2. En muchos casos no requieren un combustible auxiliar para sostener la combustión; y
3. Pueden ser utilizadas para controlar las corrientes de desecho intermitentes o fluctuantes.

### **Desventajas:**

Las desventajas de las antorchas incluyen (EPA, 1995):

1. Pueden producir ruido, humo, radiación de calor, y luz indeseables;
2. Pueden ser una fuente de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, y CO;
3. No pueden ser utilizados para tratar corrientes de desecho con compuestos halogenados; y
4. Se pierde el calor liberado proveniente de la combustión.

### **Otras Consideraciones:**

El llameo con antorcha es considerado como una opción de control cuando el valor de calentamiento de una corriente de emisión no puede ser recuperada debido a la incertidumbre de un flujo intermitente tal como

en las alteraciones de proceso o en emergencias. Si el gas de desecho tiene un valor de calentamiento suficientemente alto para sostener la combustión (esto es, mayor de 11 MJ/m<sup>3</sup> o 300 Btu/scf), la corriente puede servir como gas combustible para un incinerador si uno está siendo empleado en el sitio (EPA, 1991).

#### **Referencias:**

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual*. Van Nostrand Reinhold, New York.

EPA, 1991. U.S. EPA, Office of Research and Development, "Control Technologies for Hazardous Air Pollutants," EPA/625/6-91/014, Washington, D.C., June.

EPA, 1992. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Control Techniques for Volatile Organic Emissions from Stationary Sources," EPA-453/R-92-018, Research Triangle Park, NC., December.

EPA, 1995. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Survey of Control Technologies for Low Concentration Organic Vapor Gas Streams," EPA-456/R-95-003, Research Triangle Park, NC., May.

EPA, 1996. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. February.

Gonzalez, 1999. Steve Gonzalez, Kaldair, Inc., Houston, Texas, (800) 525-3247, personal communications with Eric Albright, April 15 and 16, 1999.