

EVALUACIÓN DE UNA EXPLOSIÓN DE GAS NATURAL DEL PETRÓLEO EN UN TANQUE DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE CRUDO.

**Ing. Alejandro Díaz Linares¹, Ing. Máximo Badía Díaz¹, Ing. María Caridad
Hernández Brizuela².**

1. *Planta de Procesamiento de Crudo. Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. Finca “La Cachurra”, Guásimas, Cárdenas, Matanzas, Cuba. adias@epepc.cupet.cu.*
2. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen.

El presente trabajo evalúa mediante el *software* ALOHA un escape de gas natural en forma de nube tóxica ocurrido en una planta de procesamiento de crudo. Su objetivo fundamental es el conocimiento del comportamiento de la nube formada, tanto al aire libre como en el interior de los locales, además demostrar la confiabilidad de este *software* puesto que; su uso fundamentalmente está encaminado a la predicción de accidentes con sustancias nocivas o a su evaluación una vez hayan tenido lugar. Como principales resultados se aprecia la capacidad de formación de nubes del gas natural y su dispersión, partiendo de las características climatológicas de cada zona de estudio, cómo se afecta el área ocupada por oficinas y corrobora además el criterio de que, en horas de la noche y primeras horas de la mañana el viento sopla más frecuentemente en la dirección Sur que en las direcciones restantes.

Palabras claves: Nube tóxica de gas natural del petróleo, software ALOHA, condiciones climatológicas, áreas de peligro, tanques de procesos.

Introducción.

El gas natural del petróleo es un compuesto que, por sus características de composición, inflamabilidad, dispersión, estabilidad y estado en condiciones ambientales normales, es propenso a accidentes industriales en aquellos casos en los que se maneje descuidadamente o donde existan fallas industriales en su manipulación, separación, tratamiento, almacenamiento o trasiego del mismo. Se conoce hasta el momento su capacidad de incendiarse en forma de incendios de tipo dardos de fuego o en forma de nubes. También se ha constatado en bases de datos internacionales y en registros de incidentes de plantas de procesos, su veracidad en la formación de nubes tóxicas, las cuales son originadas por expansiones súbitas de dicho compuesto o por fugas, atendiendo a daños estructurales en aquellos depósitos donde esté contenido. Generalmente las nubes que se forman poseen un carácter ácido-tóxico, el cual viene dado por la presencia en buena proporción de sulfuro de

hidrógeno en el gas. Sus características y propiedades generalmente se expresan en rangos puesto que, esta sustancia multicomponentes, varía sustancialmente dependiendo de las características geológicas y químicas de cada yacimiento. A su vez, lo anteriormente planteado hace que su comportamiento pueda ser más o menos ácido, tóxico, estable e inflamable, entre otras características que también resultan de interés. Siempre es importante la preparación sobre la base de los resultados indeseables que provoca un accidente el cual lleve implícito una nube de gas natural. Existen programas computacionales basados en cálculos geométricos, físicos y geográficos, los cuales permiten conocer o predecir el comportamiento de incendios y explosiones de cualquier compuesto químico. Su uso es de vital importancia, atendiendo a sus resultados se toman acciones, día a día, para minimizar accidentes industriales, los cuales sabemos; toda la desolación que traen consigo. Preservar la vida de las personas es lo más importante a tener en cuenta en cualquier situación riesgosa, seguido del daño en instalaciones, ecosistema, y pérdidas de manera general.

Desarrollo.

1. Propiedades y características del gas natural.

Es una mezcla homogénea en proporciones variables de hidrocarburos parafínicos, su componente principal es el metano cuyo componente varía generalmente entre 90 y 98% molar, contiene también etano, propano, butano y componentes de menor proporción más pesados, también tiene en menores proporciones gases inorgánicos como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxígeno y vapor de agua entre otros. Todos estos contaminantes se consideran impurezas del gas natural y realmente causan serios problemas operacionales como son la formación de hidratos por condensación del vapor de agua y el aumento acelerado de la corrosión en los equipos de proceso. Se puede encontrar como gas asociado y gas no asociado, dando esto una medida del gas que acompaña al crudo desde el yacimiento o de los yacimientos netamente gasíferos respectivamente. Se considera que el gas natural tiene una serie de ventajas sobre

otros combustibles debido a su seguridad por el hecho de tener límites de inflamabilidad en rangos tan estrechos (de 4% a 14%) y una alta La presencia de sulfuro de hidrógeno en el gas natural es de importancia significativa teniendo en temperatura de ignición. (Fuentes, 2010). Entre sus propiedades físicas calculadas por (Carrillo y Guerrero, 2013) se pueden citar las siguientes:

Tc: -75.56 0C

Pc: 4601 KPa

Densidad media: 15.37 kg/m³

Viscosidad media: 0.019 cP.

- Sulfuro de Hidrógeno. H₂S.

El sulfuro de hidrógeno se encuentra en gran medida acompañando al crudo extraído, unido directamente al gas natural o gas acompañante, a temperatura ambiente se encuentra en fase gaseosa, por lo que su separación y por tanto emanación es bastante fácil, y muy difícil de controlar. (Ramírez, 2016). Es un gas incoloro, más pesado que el aire en su estado más puro y extremadamente tóxico. En bajas concentraciones, tiene olor a huevo podrido y causa irritación en los ojos y en la garganta. En concentraciones elevadas puede causar la muerte. Se encuentra en una amplia variedad de procesos industriales, además de la industria del petróleo, en la producción de pulpa y papel y en el tratamiento de las aguas residuales. (ENFORM, 2015). Es también conocido como gas ácido, gas amargo o gas que apesta. Entre sus características y propiedades físico-químicas y toxicológicas se encuentran las siguientes:

Temperatura de Ebullición: -59.5 0C

Densidad: 1.19 g/cm³, más denso que el aire que posee 1.0

Límite superior de inflamabilidad: 46%

Límite inferior de explosividad: 4%

Concentraciones menores a 1 ppm: Puede olerse

Concentraciones entre 20 y 50 ppm: Irritación de ojos, garganta y pulmones

Concentraciones entre 200 y 500 ppm: Cefaleas, mareos, pérdida de conciencia

Concentraciones mayores de 500 ppm: Desmayo fatal al cabo de 1 hora.

2. Posibles escenarios de riesgos del gas natural

- Dardos de fuego.

Este tipo de incendio tiene lugar cuando se produce el vertido accidental de vapores o gases inflamables a presión, en áreas de proceso o depósitos de almacenaje. (Planas-Cuchi et al., 1997) y (Casal et al., 2001). La peligrosidad de un incendio de chorro accidental reside en la posibilidad de efecto dominó, es decir, la propagación del accidente a otras instalaciones cercanas. (Ferrero, 2006). La radiación emitida por un chorro de fuego afecta generalmente a zonas muy limitadas, tanto por las usualmente reducidas dimensiones del chorro, como por su relativamente corto tiempo de exposición. Su peligro principal es la incidencia directa del dardo sobre otras superficies, sobre todo de equipos que contengan gases licuados. (Fernández, 2008).

- Incendio de una nube de gas.

Este tipo de incendio tiene lugar cuando se produce el vertido de un gas o un vapor inflamable, de manera que se forma una nube que se va dispersando hasta que encuentra una fuente de ignición. El escape puede ser instantáneo o continuo. Estas nubes pueden estar originadas también por el vertido de un líquido que en condiciones atmosféricas experimente un flash o que se evapore muy rápidamente. (Planas-Cuchi et al., 1997 y Casal et al., 2001). “No es siempre fácil distinguir entre explosión o incendio de una nube de gas. Sin embargo, se puede decir que en el segundo caso los efectos de la presión pueden

considerarse despreciables, siempre que no existan obstáculos al propagarse el frente de llama, el cual se mueve desde el punto de ignición hacia el punto de fuga, a través de las zonas que se encuentran entre los límites de inflamabilidad”. (Ferrero, 2006).

- Nube tóxica. Dispersión atmosférica de contaminantes.

Según (Fernández, 2008) la nube tóxica se define como “la dispersión de vapores en forma de nube con concentraciones tales, capaces de provocar afectaciones para la salud”. Para describir la evolución de nubes tanto inflamables como tóxicas en la atmósfera y hacer posible su modelización, es muy importante conocer el grado de estabilidad atmosférica que existe. (Casal et al., 2001 y EPA, 2016). Las distintas variables meteorológicas afectan en menor o mayor grado la dispersión atmosférica de contaminantes, y a su vez, estas presentan una gran variabilidad estacional diaria. (Viatela, 2007 y Rodríguez et al., 2014). Entre las principales variables meteorológicas que afectan la dispersión de nubes de contaminantes definidas por (Casal et al., 2001) se encuentran:

- El viento: Este tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. Los datos del viento se miden a una determinada altura, por la que todas las medidas se dan referidas a una cota de referencia, generalmente se usa como cota de referencia 10 metros.
- La estabilidad atmosférica: Se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante, en otras palabras, se refiere al grado de turbulencia existente en un momento determinado. La clase de atmósfera viene determinada por la cantidad de insolación, la humedad, las inversiones nocturnas y el viento, según su estabilidad se caracterizan según Pasquill de la siguiente forma:

Tabla 1. Clases de atmósfera según su estabilidad.

| Viento de superficie (a 10 m) / m s- 1 | Radiación solar (día) | | | Noche o nublado | |
|---|-------------------------|----------|-------|---------------------|---------------------|
| | Fuerte | Moderada | Débil | Nubes \geq 4/8 | Nubes \leq 3/8 |
| 0-2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | D |
| ≥ 6 | C | D | D | D | D |

Fuente: Casal et al., (2001).

Donde las letras representan el grado de estabilidad de la siguiente forma:

- A. Muy estable
- B. Inestable
- C. Ligeramente inestable
- D. Neutra
- E. Ligeramente estable
- F. Estable

- La temperatura y la humedad relativa: Básicamente son consecuencias de la estación del año, se utilizan para el cálculo de la velocidad de evaporación de un líquido además de, utilizarse en las ecuaciones de dispersión de gases pesados. La humedad del aire solo tiene efectos significativos sobre la dispersión de un contaminante si existe reactividad entre el contaminante y el vapor de agua presente en la atmósfera, tiene también otro efecto significativo si el gas que se tiene que dispersar está a una temperatura más baja que la ambiente. En este último caso, la humedad afecta al balance energético de las masas de gas y aire implicadas en la dispersión y provoca problemas de condensación de vapor de agua como las nubes de gases licuados de petróleo (GLP), por ejemplo, se ven blancas porque condensan la humedad del aire.

3. *Software* ALOHA. Sus potencialidades.

ALOHA es un programa computarizado diseñado específicamente para el uso de personas que respondan a la evaluación de accidentes químicos, así como para la planificación y entrenamiento de emergencias. Puede predecir las tasas a las cuales los vapores químicos pueden escapar a la atmósfera desde tuberías de gas rotas, fugas de tanques, y charcos de evaporación. (Díaz, 2013). Predice además como una nube de gas peligrosa puede dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental. Está diseñado para que pueda usarse fácilmente, de modo que pueda operarse exitosamente durante situaciones de alta presión. Su biblioteca química posee información sobre las propiedades físicas acerca de más de novecientos compuestos químicos peligrosos de uso común para la industria. (Castro *et al.*, 2013) y (Piedra y Valdivieso, 2013).

4. Evaluación de un escape de gas natural del petróleo en un tanque de proceso de una Planta de Procesamiento de Crudo.

En el desarrollo de esta evaluación han sido necesarios ciertos datos referidos al clima, tomados de (Moya, 2010).

Datos climatológicos:

- Dirección del viento respecto al tanque: Sur.
- Velocidad media del viento en la dirección Sur: 2,94 m/s.
- Clase de estabilidad atmosférica: F. Muy estable.
- Nubosidad media del mes: 5
- Temperatura media del mes: 24 °C.
- Humedad relativa media del mes: 81 %.
- Hora del incidente: 9:00 a.m.

Una vez determinadas las condiciones atmosféricas existentes, se determina según ALOHA la cantidad aproximada de contaminante emanada, partiendo de los volúmenes de operación existentes y de las características de diseño y operación del tanque.

- Diámetro del tanque: 34,1947 m.
- Perímetro del tanque: 107,48 m.
- Área de la sección transversal del tanque (A_{ST}): 918,35 m².
- Volumen total constructivo del tanque (V_t): 10992,6495 m³.
- Volumen real de operación del tanque (V_{op}): 8200 m³.
- Volumen ocupado por el gas (V_{gas}): 2792,64 m³. Determinado como la diferencia entre V_t y V_{op} .

- Rajadura aproximada en el techo: $1/5 \cdot \text{Perímetro}$: 21m.
- Altura aproximada de la rajadura: 0,2 m.
- Temperatura aproximada del gas: 91 °C.
- Presión del tanque: 1 atm.

Se emanaron 3389 kg de gas natural los cuales se dispersaron en forma de nube tóxica, mostrando las siguientes áreas de peligro en la dirección Sur del viento:

- Área roja: 310 m. Condiciones de riesgos fatales sobre la vida.
- Área naranja: 710 m. Efectos irreversibles sobre la salud.
- Área amarilla: 891 m. Efectos moderados sobre la salud y presencia clara de olores desagradables.

Se determina el equivalente de sobrepresión sobre el techo del tanque de la siguiente forma:

5. Presión del tanque: 1 atm.

$$1 \text{ atm} = 10332 \text{ kgf/m}^2.$$

$$\text{Toneladas de fuerza} = (\text{Presión (kgf/m}^2) \cdot A_{ST} \text{ (m}^2)) / 1000$$

$$\text{Toneladas de fuerza} = 9488.$$

La siguiente figura muestra el desplazamiento de la nube obtenida por ALOHA, sobre una imagen satelital de la planta y sus zonas adyacentes.

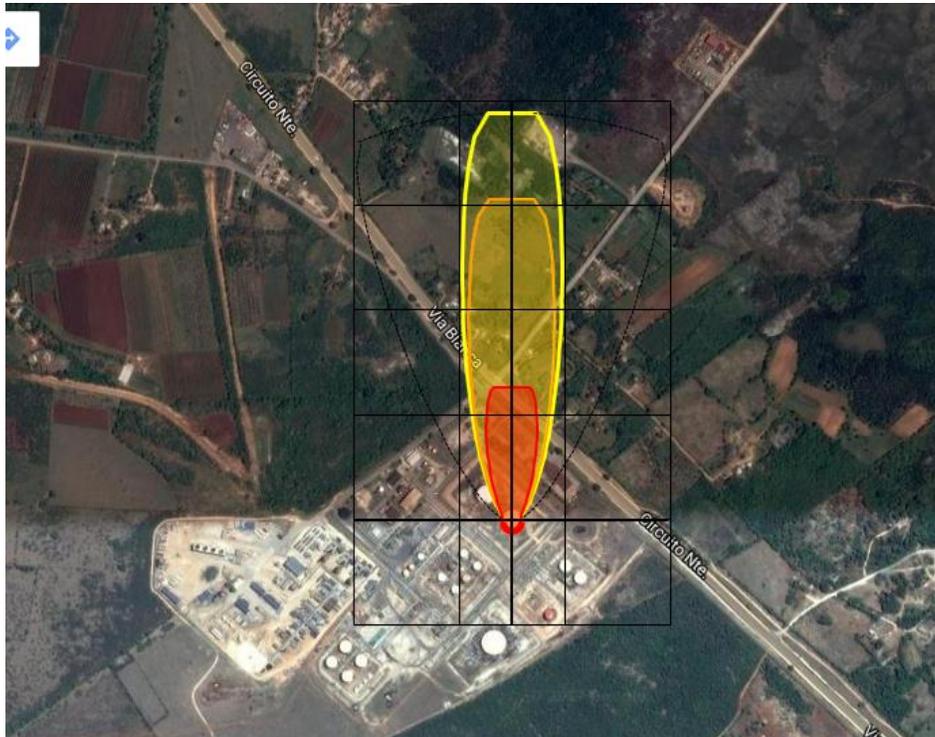


Fig. 1. Desplazamiento de la nube de gas natural en la dirección Sur del viento.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse el área roja (con peligro para la vida), abarca toda el área de oficinas, lugar donde labora la mayor cantidad de personas con respecto a las áreas restantes; las áreas naranjas y amarillas, en las cuales existe peligro de daños para la salud, abarca hasta los 890 m de la fuente y afecta el caserío que se encuentra frente a la planta.

Conclusiones.

El gas natural del petróleo es propenso a la formación de nubes con alto nivel de riesgo tanto por toxicidad como por inflamación. La toxicidad de estas nubes se ve potenciada por el contenido de sulfuro de hidrógeno presente en el gas y su capacidad de dispersión. La nube tóxica según (Hernández, 2017) es el escenario de riesgo más probable en plantas de

procesamiento de crudo con una frecuencia de probabilidad de $1,1082 \text{ a}^{-1}$. Según (Moya, 2010), la dirección Sur del viento resulta la más probable durante las noches y primeras horas de la mañana, momento en que tuvo lugar el incidente. El software ALOHA es capaz de modelar el comportamiento de nubes de contaminantes tanto al aire libre como en el interior de locales. Las mayores afectaciones que provoca un accidente en los tanques de proceso bajo estas condiciones atmosféricas corresponden al área de oficinas.

Bibliografía.

1. CARRILLO G., GUERRERO P. Cálculo de propiedades del gas natural. Trabajo especial de grado en opción al título de Ingeniero Químico. Maracaibo. 2013.
2. CASAL, J. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. *Edicions UPC*. 2001.
3. CASTRO D., OROZCO J., CURIEL L. Monografía. Evaluación de atmósferas peligrosas en la zona industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. Universidad de Matanzas. Cuba. 2013.
4. DÍAZ A. Análisis y evaluación de riesgos en la planta de gas de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. 2013.
5. ENFORM. Curso de sulfuro de hidrógeno. 7^{ma} Edición. Versión 7.4. 2016. disponible en: PPC.
6. EPA. ALOHA Software. 2016. Disponible en : www.epa.gov/comeoaloha-software.
7. FERNÁNDEZ P.M. Modelos de cálculos de efectos y análisis de consecuencias. Gestión medioambiental y técnicas afines. EOI. 2008.
8. FERRERO. Incendios de hidrocarburos: Estudio de la formación y evolución del boil over de capa fina. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Cataluña. 2006.
9. FUENTES E. Descripción de las características y propiedades del gas natural. Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela. 2010.
10. HERNÁNDEZ M.C. Determinación y evaluación de riesgos en la Planta de Procesamiento de Crudo de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo

- del Centro. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. 2017.
11. Mapas 2017. Disponible en: googlemaps.com.
 12. MOYA. Registro Cimatológico de la provincial de Matanzas. 2010.
 13. PIEDRA J. Y VALDIVIESO J. Evaluación del riesgo de incendio y explosión en una línea de extrusión de polietileno expandido. Tesis de Maestría en Sistema Integrador de Gestión de la Calidad, Ambiente y Seguridad. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. 2013.
 14. PLANAS-CUCHI, E., MONTIEL, H., CASAL, J. *A survey of de origin, type and consequences of fire accidentes in process plants in the transportations of Hazardous materials*. Universidad Politécnica de Cataluña. 1997.
 15. RAMÍREZ. Reglamento Tecnológico actualizado de la Planta de Procesamiento de Crudo. 2016. Disponible en: PPC.
 16. RODRÍGUEZ D., QUINTERO A., GONZÁLEZ Y., CUESTA O., SÁNCHEZ A. Variación de la estabilidad y altura de la capa de mezcla en la ciudad de Pinar del Río: su relación con condiciones sinópticas. *Revista Brasileira de Meteorología*. 2014.
 17. VIATELA I. Análisis comparativo de diferentes modelos para los coeficientes de dispersión atmosférica y su efecto en el cálculo de dosis. Caso de aplicación: reactor experimental RA-6. Universidad Nacional de Cuyo. San Carlos de Bariloche. Argentina. 2007.