

Reclasificación de atmósferas gaseosas potencialmente explosivas por efecto de la ventilación

Por *Ing. Gustavo A. Parajuá* (Total Austral S.A.)

Este trabajo busca definir la metodología que, con respaldo normativo internacional, permite minimizar los riesgos de deflagración o explosión, a partir de reducir la criticidad de las áreas con atmósferas gaseosas clasificadas como potencialmente explosivas, mediante la aplicación de un sistema de ventilación. El fin es obtener un diseño de la instalación con sólidos fundamentos normativos, que reduzca la vulnerabilidad de la empresa al minimizar los riesgos de daños.



La problemática de las atmósferas gaseosas potencial explosivas

Toda actividad humana lleva implícito un nivel de riesgo. En particular, en aquellas instalaciones en las que se desarrollan procesos industriales que implican la manipulación, la transformación, el transporte y el almacenamiento, entre otros, de materiales inflamables. Resulta prácticamente imposible asegurar que no se presentará, en

alguna circunstancia, una atmósfera gaseosa explosiva, así como también asegurar que el equipamiento eléctrico emplazado en el lugar no desarrollará nunca niveles de energía como para inflamar la atmósfera gaseosa circundante. La evolución y el desarrollo técnico y tecnológico crea nuevas situaciones de riesgo al enfrentarnos con nuevos procesos. De todos modos, esa misma evolución ofrece las soluciones para que este nivel de riesgo se sitúe siempre en niveles aceptables.

Las técnicas de protección frente al riesgo de explosión, establecen determinados pasos de diseño para las instalaciones, según la siguiente secuencia:

1. Minimizar el riesgo de presencia de atmósferas explosivas evitando o limitando, dentro de lo técnicamente posible, la influencia de las “fuentes de escape”, de modo que la cantidad de gases liberados a la atmósfera, así como la velocidad de liberación, sean muy limitadas.
2. Clasificar las áreas en zonas de riesgo por presencia de atmósfera explosiva, delimitando el tamaño de las mismas y cuantificando el riesgo.
3. Evitar, en la medida de lo posible, la instalación en los emplazamientos peligrosos de todo equipo que puede inflamar la eventual mezcla explosiva, y si es absolutamente necesario, lo que rigurosamente sucede en la mayoría de los casos, utilizar equipos eléctricos provistos con un modo de protección normalizado.

Como primer paso dentro de la segunda actividad mencionada, es decir, la clasificación de las áreas, debemos evaluar la ventilación (ventilación natural o proveer ventilación artificial) de modo tal de minimizar el tamaño y la rigurosidad de las áreas generadas por los posibles escapes. Justamente este aspecto del estudio de las áreas peligrosas es el que trataremos en este trabajo.

En cada área de la planta, la probabilidad de explosión como consecuencia de la presencia de atmósfera explosiva, y de un fallo en el modo de protección que conduzca a la aparición de una manifestación energética que inflame la mezcla circundante, corresponde a lo que se denomina “riesgo catastrófico”, con tiempo medio entre fallos del orden de treinta años.

En adelante, excepto que se aclare expresamente lo contrario, cuando se haga referencia a la norma, sus requerimientos, etcétera, nos referiremos a la IEC 60079 “Mate-

riales eléctricos para atmósferas gaseosas explosivas”, con todas sus partes (muy especialmente su Parte 10-1 “Clasificación de Áreas-Atmósferas gaseosas explosivas”), o a sus equivalentes nacionales emitidas por la AEA (Asociación Electrotécnica Argentina) y el IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

Es sabido que el fuego es una reacción de oxidación provocada por el aporte de una cierta energía, normalmente en forma de calor, y en la cual un producto, que llamamos combustible, es oxidado por otro, llamado comburente, y que generalmente es el oxígeno del aire. Esta reacción viene acompañada de una emisión de calor y generalmente también por llamas y humo.

El requerimiento en cuanto a la presencia simultánea de los tres componentes citados, da lugar al denominado “Triángulo de fuego” que se muestra en la figura 1, y que aporta una primera y efectiva acción preventiva, como es el hecho de que si falta uno de los tres elementos, el fuego no se producirá.

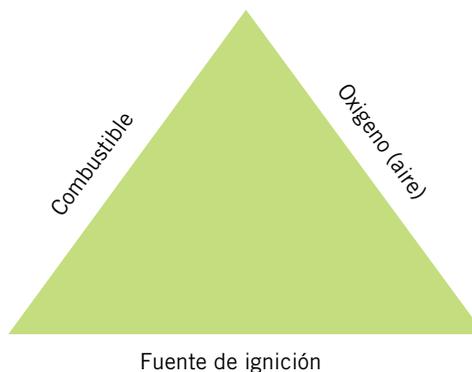


Figura 1. Triángulo de fuego. Componentes de la reacción química de combustión.

Una “atmósfera explosiva” es, conforme se define en la norma, “una mezcla de gas inflamable con el oxígeno del aire, en proporciones tales que después de producida la ignición, la combustión se propaga a toda la mezcla no consumida”. Y decimos que la combustión continúa por sí misma hasta agotar el combustible, por cuanto el calor generado por la reacción es mucho mayor que el demandado por ella para su iniciación, de modo que el propio calor de la reacción es más que suficiente para provocar la reacción del combustible de la zona adyacente, y es así como la misma progresa hasta completar la mezcla remanente.

Por otra parte, un “área con riesgo de explosión o potencialmente explosiva” es aquella en la que está presente una atmósfera explosiva, o se puede esperar que esté presente en cantidad tal como para requerir precauciones especiales en la construcción, la instalación y el uso de los materiales eléctricos.

En general haremos referencia a atmósferas potencialmente explosivas generadas por la dilución de gases o vapores combustibles en aire. De todos modos, los conceptos desarrollados en este artículo pueden extenderse, en sus términos más generales, a los casos de polvos o fibras combustibles.

Asimismo, se interpreta como explosión “la súbita liberación de la energía contenida en una determinada mezcla de gas inflamable y oxígeno, en forma de onda de choque y fuente de llama, generada por una reacción química de propagación fuertemente exotérmica”. De esta descripción se deduce que solo la prevención permitirá controlar este fenómeno de una forma racional y eficiente.

De todos modos, para producirse una explosión no será suficiente, aunque si estrictamente necesario, que se presenten los tres componentes de la reacción química de combustión en forma simultánea. Experimentalmente se ha determinado que para cada mezcla explosiva, es decir para cada combustible en combinación con el aire, y para cada concentración de dicha mezcla, existe una determinada cantidad de energía denominada Energía Crítica de Ignición, que es capaz de producir la combustión de la mezcla, generando esa esfera inicial, que crece indefi-

nidamente y sin control, y que caracteriza justamente al fenómeno de la explosión. Nos referimos a que producida la inflamación de la mezcla, se desarrolla una esfera inicial que crece indefinidamente, etcétera, por cuanto partimos del escenario teórico de una mezcla aire-gas totalmente homogénea, que efectivamente evolucionaría como una esfera ideal.

Una vez obtenidos los diferentes valores de la Energía Crítica de Ignición para una dada mezcla gas-aire en sus diferentes concentraciones, pueden graficarse curvas como las indicadas en la figura 2, en donde se muestran los casos correspondientes a las mezclas metano-aire e hidrógeno-aire.

Cabe mencionar que estas curvas, con sus límites de explosividad, niveles de energía, etcétera, que describiremos brevemente a continuación, dependen fuertemente de varios factores externos, como la presión y la temperatura inicial (presión y temperatura existente en la mezcla al momento de activarse la fuente de ignición), la concentración de oxígeno en el aire, con enorme influencia particularmente en el límite superior del intervalo de explosividad de la mezcla, humedad relativa de la mezcla, etcétera.

De este modo, se determinan ciertos parámetros que definen de alguna manera, el nivel de riesgo de explosión de la mezcla considerada, y que constituyen, en conjunto con otros indicadores, el basamento teórico-práctico para el diseño de las diferentes técnicas de aplicación, tanto para la clasificación de las atmósferas potencialmente explosivas, como para la protección del equipo eléctrico habilitado para esas áreas. Dichos parámetros son los siguientes:

- Límite inferior y superior de explosividad (LIE y LSE, o en inglés LFL y UFL, por *Lower Flammable Limit* y *Upper Flammable Limit*): en concentraciones inferiores y superiores, respectivamente a dichos límites, la energía requerida para generar la ignición alcanza valores tan altos, que se considera imposible producir una explosión desde el punto de vista práctico. Decimos en consecuencia, que para tales concentraciones, no se establece una atmósfera explosiva.
- Concentración de máxima inflamabilidad (CMI): aquella concentración para la que se requiere la mínima cantidad de energía para producir la inflamación de la mezcla.
- Energía mínima de ignición (EMI): la menor cantidad de energía que puede producir la combustión de la mezcla considerada. En tal caso, la mezcla deberá estar en su CMI.

Las instalaciones industriales se diseñan de modo que la concentración de las mezclas aire-gas inherente a los procesos involucrados se mantienen bien por debajo del LIE en el exterior de los equipos de proceso, o se mantienen muy por encima del LSE en el interior de los mismos. Justamente en la primera parte del trabajo de diseño mencionado, esto es mantener la concentración de las mezclas peligrosas bien por debajo del LIE en el exterior de los equipos de proceso, es que tiene primordial incidencia el asegurar un sistema de ventilación adecuado.

Ahora bien, el suceso explosión es la conjunción de otros dos sucesos, que son independientes el uno del otro:

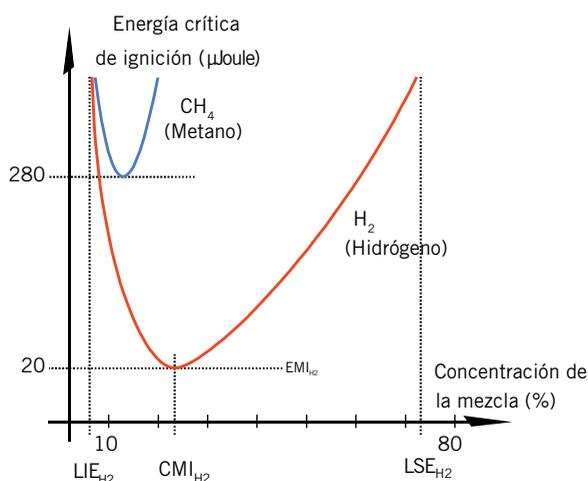


Figura 2. Casos correspondientes a las mezclas metano-aire e hidrógeno-aire.

- Formación de una atmósfera explosiva en un emplazamiento.
- Aporte de una manifestación energética capaz de inflamar la atmósfera explosiva de un equipo situado en el emplazamiento.

Luego la probabilidad del suceso explosión resulta del producto de las probabilidades de los dos sucesos anteriores:

$$P_{exp} = P_{A\ Exp} \times P_{F.Ig.} \quad (1)$$

El horizonte deseado para la P_{exp} es del orden de 10^{-12} que se corresponde estadísticamente con la probabilidad del acontecimiento de una catástrofe, lo que puede lograrse evitando o minimizando las probabilidades $P_{A\ Exp}$ y $P_{F.Ig.}$. El objetivo, por lo tanto, al diseñar una instalación en donde se procesan sustancias inflamables, es como fuera dicho, llegar en lo posible al denominado **riesgo catastrófico**, vale decir, el nivel mínimo e inevitable de riesgo, el inherente a la vida misma.

La herramienta más idónea para conocer la probabilidad de que se presente una atmósfera explosiva ($P_{A\ Exp}$), esto es el análisis del primer factor del segundo miembro de la expresión (1), es la **clasificación de áreas con riesgo de deflagración o explosión**, ajustándose a las instrucciones de las normas que tratan de las instalaciones en atmósferas explosivas.

En relación a la probabilidad de presencia de una fuente de ignición ($P_{F.Ig.}$), segundo factor del segundo miembro de la ecuación (1), la utilización de los llamados **Modos de protección para equipos e instalaciones**, constituyen las técnicas con el debido sustento normativo internacional y de probada eficiencia.

Cada modo de protección es definido, según las normas, para su utilización en una determinada área clasificada, y la relación que se establece es tal que el producto de las probabilidades de formación de mezclas en condiciones de explosividad, y de fallo del modo de protección correspondiente, es decir, la probabilidad de producirse una explosión sea aproximadamente constante e igual a 10^{-12} (Figura 3).

La clasificación de áreas con atmósferas potencialmente explosivas es un método de análisis y cálculo que, en cumplimiento con las normas vigentes (IRAM-IEC 60079 Parte 10), permite realizar una evaluación cuantificada del riesgo, para luego poder seleccionar adecuadamente el equipamiento, los sistemas y las instalaciones eléctricas que se utilizarán en dichas áreas. Para ello, se debe evaluar detalladamente cada equipo de proceso que contenga sustancias inflamables y que pueda constituirse en una fuente potencial de escape, para luego analizar la frecuencia y duración del escape, la tasa de escape, la concentración, la ventilación, etcétera, todo lo cual permite definir el tipo y la extensión del emplazamiento peligroso.

Al clasificar las áreas nos posicionaremos sobre el eje de ordenadas de la figura 3, en algún estado intermedio entre el 10^{-12} , que corresponde a la zona segura, y 1, que corresponde a una atmósfera de gas explosiva presente de forma "continua" (Zona 0). Proveer una ventilación ade-

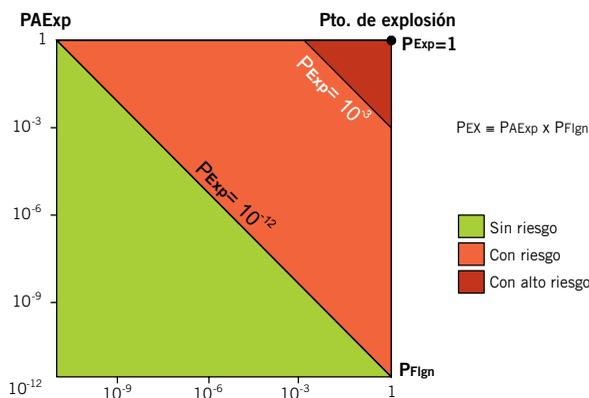


Figura 3. Relaciones que definen el modo de protección.

cuada permitirá desplazarnos en modo descendente por dicho eje hacia una condición operativa más segura, lo que evidencia su trascendental importancia.

La norma establece una primera clasificación de los emplazamientos peligrosos, en base a las "sustancias que pueden presentarse en la atmósfera generando un riesgo de explosión", y de acuerdo con ella, los locales o emplazamientos se dividen en clases. De tal forma tenemos:

- **Clase I:** por presencia de gases o vapores o nieblas inflamables.
- **Clase II:** por presencia de polvo combustible (se excluyen los explosivos).
- **Clase III:** por presencia de fibras.

Según lo habíamos anticipado en un comienzo, nos ocuparemos exclusivamente de las atmósferas explosivas, debido a la presencia de gases o vapores inflamables, es decir, nos ocuparemos de las áreas Clase I.

El segundo criterio de clasificación, tiene en consideración la "probabilidad de presencia de atmósfera explosiva". En tal sentido, los emplazamientos para atmósferas gaseosas explosivas se dividen en:

- Zona 0:** aquella en la que una atmósfera de gas explosiva está presente de forma continua o se prevé que esté presente durante largos períodos de tiempo o cortos períodos, pero que se producen frecuentemente.
- Zona 1:** aquella en la que una atmósfera de gas explosiva se prevé que pueda estar presente en forma periódica u ocasional durante el funcionamiento normal.
- Zona 2:** aquella en la que una atmósfera de gas explosiva no se prevé que pueda estar presente en funcionamiento normal y, si lo está, será de forma poco frecuente y de corta duración.

En consecuencia, las áreas peligrosas se clasifican en zonas según la frecuencia de aparición y la duración de una atmósfera explosiva.

A su vez, la norma define las "áreas no peligrosas o áreas seguras" como aquellas en las que no se prevé que exista una atmósfera gaseosa explosiva, en cantidades como para requerir precauciones especiales para la construcción, la instalación y el uso de los materiales eléctricos.



Para poder realizar la clasificación de áreas, es decir, determinar el tipo de área o zona, calcular su extensión y sus particularidades en cuanto a la severidad del riesgo, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Determinar el tipo de gases o vapores inflamables presentes.

Las normas clasifican a los materiales eléctricos según el “grupo de gases” en el que pueden emplearse, del siguiente modo:

Grupo I: materiales eléctricos destinados a las minas de carbón (gristú).

Grupo II: materiales eléctricos destinados a otras industrias.

El grupo de interés para esta presentación es el Grupo II.

2. Definir los parámetros: LIE, LSE, EMI y TI.
3. Densidad relativa (δ) de las sustancias inflamables respecto al aire (por ejemplo, la extensión horizontal de las zonas aumenta con el incremento de la densidad relativa).

De acuerdo con la norma, los gases y vapores se clasifican en “más pesados que el aire” para el caso en que $\delta > 1.1$, “más ligeros que el aire” si $\delta < 0.75$, y finalmente, si $0.75 < \delta < 1.1$, se establece que deben respetarse las prescripciones relativas, tanto a los gases y los vapores más pesados que el aire, así como a los más livianos.

4. Parámetros del proceso como presión y temperatura.
5. Localización, determinación y clasificación de las fuentes de liberación o escape.

A tal efecto, la norma define a la “fuente de escape”, como el punto o lugar desde el cual se puede liberar a la atmósfera un gas, vapor, niebla o líquido inflamable de manera que pueda formarse una atmósfera gaseosa explosiva, y las clasifica, según la duración y la frecuencia del escape, en “de grado continuo”, “de primer grado” y “de segundo grado”. También se definen fuentes de escape de “grado múltiple” cuando se trata de una combinación de las anteriores. Existe en términos generales cierta correspondencia entre el nivel de la Clasificación y el grado de la fuente de escape o liberación a través de la cual:

Zona 0 - Fuente de escape de grado continuo. Ejemplo: la interfase entre el líquido combustible y la atmósfera interior de un tanque.

Zona 1 - Fuente de escape de grado primario. Ejemplo: el sello de una bomba.

Zona 2 - Fuente de escape de grado secundario. Ejemplo: fugas en bridas y accesorios de tuberías.

Cabe mencionar que los ejemplos son dados con un propósito orientativo y de carácter muy general, de modo que no debe interpretarse que en todos los casos, por ejemplo, el sello de una bomba, de un compresor o una válvula es indefectiblemente una fuente de escape de primer grado, que genera una Zona 1. Será así solo si por sus características técnicas, su calidad, etcétera, es de esperar que en funcionamiento normal pueda liberar sustancias inflamables. Si por el contrario se evalúa que no es de esperar que libere tales sustancias en operación normal, sino que solo podría suceder este hecho en caso de falla, entonces el sello debe graduarse como fuente secundaria, y asociarlo a una Zona 2.

Asimismo es necesario tener presente la incidencia de la ventilación en la definición y extensión de las zonas, a tal punto que, como veremos, todo lo dicho en relación al sello citado, es válido solo en combinación con una ventilación de intensidad “media” y “buena” disponibilidad, mientras que si tenemos nuestro sello grado primario en un emplazamiento con ventilación inadecuada o “baja”, el mismo generará al menos alguna Zona 0, mientras que si se trata del de grado secundario, generará de mínima una Zona 1.

Finalmente, un ejemplo de fuente de escape múltiple puede ser el sello de una bomba que libera líquido inflamable durante su operación normal con una frecuencia y una duración tal que puede graduarse como primaria, pero que podría graduarse también como secundaria, ya que la rotura del mismo liberaría líquido inflamable con una frecuencia y/o duración menor que la determinada por el grado básico, pero que se debe tener en cuenta pues generaría un área mayor (si fuera menor, tendríamos una Zona 2 íntegramente incluida en una Zona 1, y no tendría sentido su identificación). De esta manera alrededor de una sola fuente de escape se pueden tener dos zonas o niveles de riesgo con extensiones diferentes.

6. Tipos de ventilación.

Las normas clasifican la ventilación, según su intensidad o grado, y según su disponibilidad, y dan



información orientativa respecto de cómo una ventilación adecuada reduce los niveles de riesgo y la extensión de las áreas peligrosas, estableciendo condiciones de operación más seguras. Este aspecto de las técnicas de prevención para la problemática de las atmósferas explosivas es el propósito de esta presentación.

Ventilación

Como expresa la norma, el gas o vapor que se ha escapado a la atmósfera se puede diluir por dispersión o difusión en el aire hasta que su concentración sea más baja que el límite inferior de explosividad (LIE). La ventilación, es decir, el movimiento de aire para reemplazar la atmósfera en un volumen (hipotético) alrededor de la fuente de escape por aire fresco, favorece la dispersión. Caudales apropiados de ventilación, vale decir adecuados regímenes de renovaciones de aire por unidad de tiempo, pueden también impedir la persistencia de una atmósfera de gas explosiva y, por tanto, influir en el tipo de zona.

Un sistema de ventilación adecuado permite, en consecuencia, reducir el tamaño de un área peligrosa, adicionalmente puede reducir su criticidad, e incluso puede reclasificar un área hasta llevarla a la condición de área segura. Lo que se pretende con la ventilación es que una atmósfera explosiva, que como tal se ubicaría en el interior de la parábola que muestra la figura 2, según el gas del que se trate, se desplace por el eje de abscisas de la mencionada gráfica, de modo tal de salir del interior de la parábola, y posicionarnos por debajo del límite inferior de explosividad, en una condición de funcionamiento segura.

Principales tipos de ventilación

Se definen los siguientes dos tipos de ventilación:

- Ventilación natural
- Ventilación artificial

a. Ventilación natural

Esta ventilación es generada por el movimiento del aire causado tanto por acción del viento, como por los gradientes de temperatura. Asimismo, la norma establece que al aire libre, la ventilación natural será a menudo suficiente para asegurar la dispersión de la atmósfera explosiva que pueda presentarse en el emplazamiento. La ventilación natural puede ser también eficaz en ciertos interiores, por

ejemplo, donde un edificio tiene aberturas en las paredes o en el techo (ver API RP 505, sección 6.6).

Con el propósito de cuantificar la ventilación en procura de su evaluación, entre lo que la norma indica como suficiente o insuficiente para asegurar la dispersión, la misma indica que para instalaciones al aire libre, se asume como mínima una velocidad del viento de 0,5m/s “de forma prácticamente constante”. Adicionalmente advierte que, si bien en muchos lugares la velocidad del viento es frecuentemente mayor a los 2m/s, en situaciones particulares, como pueden ser las superficies próximas al suelo, la misma puede ser incluso inferior a los 0,5m/s.

b. Ventilación artificial

En este tipo de ventilación, el movimiento del aire requerido esta proporcionado por medios artificiales, como son los ventiladores y extractores. Aunque la ventilación artificial se aplica principalmente a interiores o espacios cerrados; en instalaciones al aire libre en las que la ventilación natural presenta restricciones o impedimentos debidos a obstáculos, también se puede aplicar un sistema de ventilación artificial como compensación a esas dificultades.

La ventilación artificial aplicada a interiores o espacios cerrados, se la divide en dos tipos: ventilación artificial general y ventilación artificial local.

La norma cita ejemplos de cada uno de estos tipos de ventilación artificial:

Casos típicos de ventilación artificial general:

- Un edificio equipado con ventiladores en las paredes o en el techo o en ambos para mejorar la ventilación general del edificio.
- Instalaciones al aire libre equipadas con ventiladores situados adecuadamente para mejorar la ventilación general del área.

Casos típicos de ventilación artificial local:

- Un sistema de extracción de aire/vapor aplicado a un equipo de proceso del que se desprende vapor inflamable de forma continua o periódica.
- Un sistema de ventilación forzada o de extracción aplicado a un pequeño emplazamiento ventilado, donde se espera que de otro modo aparezca una atmósfera explosiva.

Con la aplicación de un adecuado sistema de ventilación artificial es posible:

- Realizar una significativa reducción de la extensión de las zonas.

- Reducir el tiempo de permanencia de la atmósfera explosiva pasando de tal modo de una zona a otra de menor riesgo.
- Prevenir la formación de una atmósfera explosiva.

La norma nos dice que un sistema de ventilación artificial diseñado para prevenir explosiones debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Controlar y vigilar su funcionamiento.
- En sistemas de extracción al exterior, debe considerarse la clasificación de los alrededores del punto de descarga.
- En la ventilación de emplazamientos peligrosos, el aire debe tomarse de una zona no peligrosa.
- Se debe definir la localización, el grado de escape y su cuantía o tasa de escape, antes de determinar el tamaño y el diseño del sistema de ventilación.

En la calidad de un sistema de ventilación influirán adicionalmente los siguientes factores:

- Los gases y vapores inflamables normalmente tienen densidades diferentes a la del aire, en consecuencia tenderán a acumularse en el suelo o en el techo de un emplazamiento cerrado, donde es probable que el movimiento de aire sea reducido.
- Las variaciones de la densidad de los gases con la temperatura.
- Los impedimentos y los obstáculos que pueden reducir e incluso suprimir el movimiento del aire, es decir, dejar sin ventilación ciertas partes del emplazamiento.

En el diseño de un sistema de ventilación se debe procurar alcanzar un adecuado nivel de eficiencia en el control de la dispersión y de la persistencia de la atmósfera explosiva, lo cual depende fundamentalmente del grado o intensidad de la ventilación y de la disponibilidad de la ventilación.

Grado de ventilación

La norma reconoce los siguientes tres niveles de intensidad o grado de ventilación:

- **VA (Ventilación intensa o alta).** Es capaz de reducir de forma prácticamente instantánea la concentración en la fuente de escape obteniéndose una concentración menor que el límite inferior de explosividad. Resulta así una zona de pequeña extensión (con un efecto casi despreciable).
- **VM (Ventilación media).** Es capaz de controlar la dispersión, manteniendo una situación estable, con una concentración inferior al LIE más allá de la zona confinada, mientras el escape se está produ-

ciendo. Cuando el escape cesa, la atmósfera explosiva no persiste durante mucho tiempo.

Esta ventilación puede reducir el tamaño de la zona.

- **VB (Ventilación baja).** Es la que no puede controlar la concentración durante el escape, o cuando este ha cesado es incapaz de evitar la permanencia de la atmósfera explosiva durante bastante tiempo. Esta ventilación, por lo tanto, no tiene incidencia sobre la concentración del gas.

Disponibilidad de la ventilación

La disponibilidad de la ventilación tiene influencia sobre el tipo de zona que se considerará, se pueden establecer los siguientes niveles:

- **Buena:** la ventilación se mantiene de forma prácticamente continua.
- **Aceptable:** la ventilación se mantiene en operación normal, pudiendo presentarse interrupciones del servicio poco frecuentes y de corta duración.
- **Pobre:** la ventilación no puede catalogarse de disponibilidad Buena o Aceptable.

Para valorar la disponibilidad de la ventilación se debe tener en cuenta:

- Ventilación natural

En emplazamientos en el exterior la evaluación de la ventilación se realiza asumiendo una velocidad del viento mínima de 0,5m/s, el cual se espera de forma permanente. En este caso la disponibilidad de la ventilación puede considerarse como "Buena".

- Ventilación artificial

Al valorar la disponibilidad de la ventilación artificial debe considerarse la fiabilidad del equipo y la disponibilidad de, por ejemplo, ventiladores de reserva (equipos redundantes). Así, una disponibilidad Buena, requiere que en caso de fallo del equipo de ventilación y/o extracción principal, arranque en modo automático el (los) equipo(s) de reserva. No obstante, si cuando la ventilación ha fallado se adoptan medidas para evitar el escape de sustancias inflamables (por ejemplo, por parada automática del proceso), entonces la clasificación determinada con la ventilación en servicio no necesita ser modificada, es decir, se supone que la disponibilidad es Buena.

Clasificación de zonas en función de la ventilación

Tanto en las normas como en la bibliografía que trata esta problemática, se ofrecen tablas que presentan y resumen un método práctico para clasificar las zonas en fun-

Ventilación	Grado	VA			VM			VB
	Disponibilidad	Buena	Aceptable	Pobre	Buena	Aceptable	Pobre	
Grado de escape	Continuo	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)		Zona 0	Zona 0	Zona 0
		Sin Riesgo	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 2	Zona 1	
	Primario	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)		Zona 1	Zona 1	Zona 1
		Sin Riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 2	*o Zona 0
Secundario	(Zona 2 ED)	(Zona 2 ED)					Zona 1	
	Sin Riesgo	Sin Riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	*o Zona 0

Tabla 1. Clasificación según la ventilación.

ción del tipo de escape y del grado y disponibilidad de la ventilación (Tabla 1).

En la cual:

- (Zona X ED) Zona X de extensión despreciable.
- * Cuando hay zonas que pueden definirse como "Sin ventilación".
- + Significa "rodeada por".

En la tabla 1 se muestra de forma explícita la influencia de la ventilación en la clasificación de zonas:

Se observa como una intensidad de ventilación alta (VA) y una disponibilidad Buena pueden conducir a disminuir el tamaño de la zona, de tal forma que esta sea prácticamente inexistente (desclasificación de la zona) o disminuir la calificación de la zona al reducir el riesgo de presencia de atmósfera explosiva. De igual modo, una baja intensidad de ventilación, independientemente de la disponibilidad, puede originar zonas de clasificación superior al grado del escape que las origina.

En este punto, cuando mencionamos que la clasificación de la zona resulta inferior o resulta superior a la que le correspondería según el grado del escape, nos estamos refiriendo a lo dicho con anterioridad, respecto de la existencia de una correspondencia entre ellas, esto es entre la clasificación del área y la fuente de escape o liberación (Zona 0 asociada a las fuentes de escape de grado continuo, Zona 1, a las de grado primario y Zona 2, a las de grado secundario). Vemos que, en rigor, esa correspondencia teórica se cumple solo para un Grado de ventilación media (VM) y una disponibilidad "Buena".

Principios de cuantificación del grado de ventilación

Como se ha podido ver en la tabla 1, para determinar el tipo de zona es necesario evaluar el grado o la intensidad de ventilación a partir del grado de escape.

La norma desarrolla una metodología con el propósito de determinar el grado de ventilación que resulta necesario para controlar la extensión y la permanencia de una atmósfera gaseosa explosiva, cuestión que se trata mediante:

- La evaluación de la tasa mínima de ventilación requerida para impedir una acumulación significativa de una atmósfera explosiva y la utilización de esta para calcular un volumen teórico V_z , el cual, con un tiempo estimado de permanencia (tp), permita la determinación del grado de ventilación.
- La definición del tipo de zona a partir del grado y la disponibilidad de la ventilación y del grado del escape.

La metodología de cálculo que especifica la norma es de uso directo para emplazamientos interiores, y expresamente se indica que genera resultados aproximados, a partir de proporcionar una base simplificada, con limitaciones y modelos que se ajustan a condiciones ideales. La norma incluye algunos ejemplos que resultan orientativos, dejando en claro que no es un único método de valoración, existiendo otras formas (cálculos y detalles recomendados de aplicación para instalaciones específicas de diferentes industrias).

No es el propósito de este trabajo describir el método de cálculo que ofrece la norma, pero si mencionaremos que para evaluar la tasa mínima de ventilación requerida, como se comentó anteriormente, el primer paso es determinar la

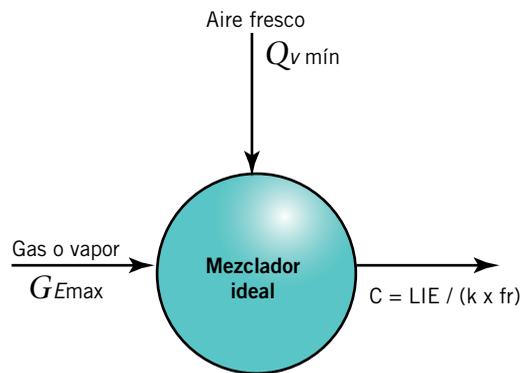


Figura 4.

cuantía máxima de la fuga de gas o vapor que es de esperar de la fuente de escape presente en la instalación, para lo cual se requiere un análisis detallado de los equipos de planta y de las características del proceso (ensayos confirmados, datos de los fabricantes, hipótesis de falla, etcétera).

El cálculo conduce finalmente al siguiente modelo de "mezclador ideal o teórico" (Figura 4).

En el cual:

- Q_{vmin} es el caudal mínimo en volumen de aire fresco por segundo, (m^3/s).
- G_{Emax} es la tasa máxima de escape de la fuente (Masa por unidad de volumen, kg/s).
- LIE es el límite inferior de explosividad (Masa por unidad de volumen, kg/m^3).
- k es el coeficiente de seguridad que aumenta el caudal de ventilación, de modo que la concentración se diluya hasta k veces por debajo del LIE. Toma los siguientes valores:
 - k = 4 (grados de escape continuo y primario) y
 - k = 2 (grado de escape secundario)
- f_T es un factor de corrección que tiene en cuenta el efecto de la temperatura ambiente sobre el volumen de la mezcla de atmósfera explosiva.

Se pretende en consecuencia calcular el caudal volumétrico mínimo necesario Q_{vmin} que se debe aportar, para que al mezclarse con el gas o vapor del escape, dado por el caudal másico G_{Emax} , la concentración de la mezcla C esté k veces por debajo del LIE. Como en la fórmula el LIE se debe introducir en kg/m^3 , se debe tener en cuenta que al aumentar la temperatura el LIE disminuye, razón por la que al LIE se le divide por f_T .

El método permite luego determinar un volumen teórico V_z (m^3) de atmósfera potencialmente explosiva alrededor de la fuente de escape, el cual representa el volumen en el que la concentración media de la mezcla inflamable estará entre 0,25 o 0,5 veces el LIE, depende del grado de la fuente de escape, y por ello del valor adoptado para el coeficiente de seguridad k. Esto nos dice que en el contorno del volumen teórico V_z la concentración de gas o vapor será significativamente inferior al LIE y que, por lo tanto, el volumen entorno de la fuente de escape, en el que la concentración está por encima del LIE deberá ser menor que V_z .

Finalmente, con este volumen teórico V_z se determina el número de renovaciones de aire por unidad de tiempo (1/S), para lo cual el citado volumen se incrementa en razón de un factor, denominado "factor de eficiencia de la ventilación" f_v , que tiene en consideración los obstáculos y las áreas que,

por su geometría, resultan de difícil ventilación (toma valores desde 1, para el caso ideal, hasta 5 para el caso de máxima dificultad para la circulación del aire de ventilación).

La problemática en la industria del petróleo y del gas

Para el caso de nuestra industria, además de las normas IEC, disponemos de un conjunto significativo de normas internacionales, que no están en conflicto con las normas IEC sino que la complementan, y focalizan en las particularidades del petróleo y del gas.

Podemos mencionar las normas API (*American Petroleum Institute*, EE.UU.) y sus prácticas recomendadas, el IP Code y su parte 15 (*Institute of Petroleum*, UK), las NFPA (*National Fire Protection Association*) y las NE (Comité Europeo de Normalización), entre otras, e incluso las Directivas ATEX 94/9/EC y 99/92/EC, aunque estas últimas son de aplicación obligatoria solo en la Comunidad Europea.

Cabe mencionar que las normas IEC son de aplicación en nuestro país, a partir de que la Argentina participa en la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI / IEC), además, que estas normas son referidas en la legislación nacional y, sobre las que se trabaja en el IRAM y la AEA en la redacción de las normas nacionales.

En general, como sucede con la IEC, todas las normas parten de clasificar la ventilación en "Natural" y "Artificial", y lo hacen manteniendo los mismos conceptos con que las trata y diferencia la IEC.

Tanto la IP 15, como la API RP 505, y menciono en especial estas normas porque son las que aplican particularmente sobre la temática en nuestra industria, al evaluar la ventilación la clasifican en:

- Adecuada
- Inadecuada

En este punto es oportuno establecer que en adelante me referiré fundamentalmente a la IP 15.

Asimismo, se realizan clasificaciones de las áreas por ventilar, a partir de considerar qué tan abierta es cada área, y se las trata en modo razonablemente diferenciado, definiendo pautas y parámetros que permiten evaluar la eficiencia de la ventilación en cada caso. De este modo, las áreas o "locales" pueden ser:

- **Área abierta (*Open area*):** áreas externas a los edificios, al aire libre, sin zonas con restricciones a la circulación del aire.
- **Área parcialmente cerrada (*Sheltered area*):** edificaciones que presentan una cubierta, tipo refugio de protección de las condiciones ambientales, normalmente con techo y tres paredes o con paredes provistas de aberturas de tal modo que cubren solo parcialmente los laterales, etcétera.
- **Área cerrada (*Enclosed area*):** todo edificio, sala o cabina totalmente cerrado, en cuyo interior, en ausencia de una ventilación artificial, el movimiento del aire es tan limitado que no puede dispersar una eventual atmósfera explosiva.

Los requerimientos de ventilación y la modalidad para la clasificación de las áreas son descriptos luego para cada situación.

Una buena práctica de diseño de las instalaciones que recomienda la norma, es el evitar, siempre que sea posible,

ubicar fuentes de escape de grado "continuo" o "primario" en áreas con ventilación reducida, como son las áreas "parcialmente cerradas" y "cerradas". En tal sentido hay que considerar que una fuga de material inflamable en un espacio confinado, como es un edificio, es potencialmente un evento extremadamente peligroso.

Ventilación adecuada

Una ventilación se califica como "Adecuada", cuando "es suficiente para prevenir la acumulación de una mezcla de gas-aire en concentraciones inflamables".

Se establece que se alcanza esta ventilación adecuada mediante un caudal uniforme de ventilación de al menos 12 renovaciones de aire por hora, en ausencia de zonas con restricciones para la circulación del aire.

Para "Áreas abiertas", la norma considera que la ventilación es adecuada, e indica que típicamente, en tales circunstancias, se tiene una velocidad del viento que frecuentemente está por sobre los 2 m/s, y muy excepcionalmente se hace menor a los 0,5 m/s.

En el caso de "Áreas parcialmente cerradas", la API RP 505 en su sección 6.6, edición 2002, ofrece un método de cálculo que permite determinar las áreas mínimas necesarias para las aberturas de entrada y salida del aire, de tal modo de asegurar una ventilación adecuada (establece un tiempo para la renovación total del volumen de aire de la locación de 5 minutos, lo cual equivale a las 12 rev./hora).

El objetivo de una ventilación adecuada es asegurar que un edificio que contiene fuentes de escape secundario sea adecuadamente clasificado como Zona 2.

Ventilación por dilución

Este sistema de ventilación artificial es de aplicación en áreas cerradas y corresponde a un nivel de ventilación que supera la condición de ventilación adecuada. La norma lo define como "La ventilación por dilución debe ser suficiente para llevar inmediatamente la concentración de la mezcla gas-aire inflamable por debajo del 20% del Límite inferior de explosividad (LIE), y mantenerlo en esa condición todo el tiempo".

El nivel de ventilación por dilución se puede determinar mediante cálculo y requiere un número muy considerable de renovaciones de aire por hora (bien en exceso respecto de las 12 renovaciones por hora requeridas para la ventilación adecuada). La norma establece que típicamente se está entre las 30 y las 90 renovaciones por hora.

Estos sistemas de ventilación por dilución se aplican, por ejemplo, en las cabinas acústicas de las turbinas de gas, donde la compleja red de cañerías constituye varias fuentes potenciales de liberación de gas, y asimismo las fuentes de ignición debidas a las superficies a altas temperaturas no pueden preverse o evitarse. El objetivo es diluir las atmósferas liberadas muy cerca de la fuente, de modo que no sea posible su ignición.

Presurización

La presurización, que constituye también un sistema adecuado de ventilación artificial, se aplica para la protección de salas u otros locales cerrados, en las siguientes condiciones:

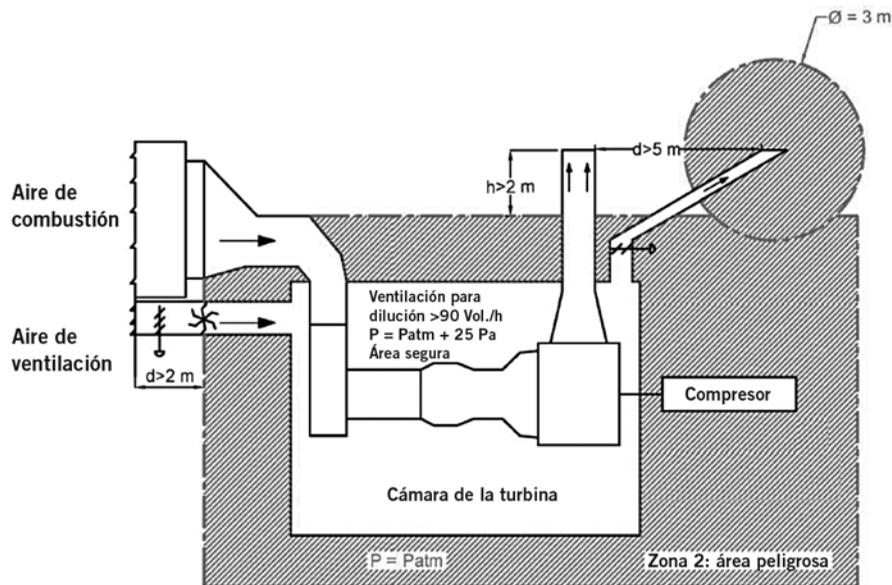


Figura 5. Turbina como máquina motriz de compresor.

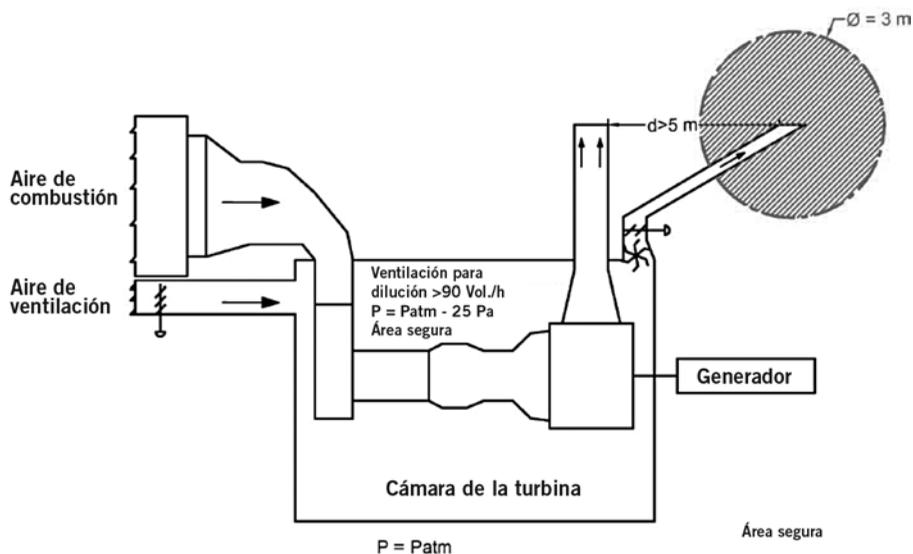


Figura 6. Turbina que impulsa un generador.

- Locales que contienen equipos eléctricos u otras fuentes potenciales de ignición, que están emplazados en áreas clasificadas como peligrosas y, en consecuencia, expuestos al ingreso de gases o vapores inflamables. En estos casos se previene el ingreso a la sala de los gases o vapores inflamables, manteniendo en el interior de la sala un gas de protección a una presión superior a la del exterior: **sobrepresión**.
- Locales que contienen fuentes potenciales de liberación de gases o vapores inflamables, que están ubicados en un área segura, con equipos eléctricos u otras potenciales fuentes de ignición. Para estos casos se previene el egreso desde la locación de gases o vapores inflamables, manteniendo en el interior de la sala un gas de protección a una presión por debajo de la presente en el exterior: **depresión**.

La diferencia de presión entre el interior y el exterior de la sala, tanto para la sobrepresión como para la depresión, deberá ser mayor o igual a 25 Pa (0,25 mbar), y deberá ser

monitoreada y detectada por un interruptor de presión diferencial como mínimo.

Para el caso de sobrepresión, la pérdida de la presión en el interior de la sala debe iniciar una alarma. Además, la sala debe ser equipada con detectores de gas fijos, que en caso de actuar, inmediatamente y en modo automático deben aislar todas las fuentes de ignición que no sean adecuadas para operar en una Zona 1.

Para el caso de depresión, la pérdida de la presión en el interior de la sala debe iniciar una alarma, y adicionalmente, inmediatamente y en modo automático, debe aislar todas las fuentes de ignición ubicadas en la vecindad de la sala, que no sean adecuadas para operar en una Zona 1.

Evaluación de la ventilación

Como ya se ha mencionado, la determinación del nivel de ventilación disponible en una locación, es el paso previo a la clasificación del área (o áreas). Siguiendo con lo establecido en los párrafos precedentes, se podría asegurar a modo de síntesis, lo siguiente:

- En “áreas abiertas” se debe considerar la ventilación natural como adecuada.
- En “áreas parcialmente cerradas” se debe establecer el nivel de ventilación, por ejemplo, en base a lo establecido en la API RP 505 (sección 6.6).
- En “áreas cerradas”, la ventilación es inadecuada. Esta puede ser adecuada, y aún mejorada (Dilución-Pressurización) si se instala un sistema de ventilación artificial, bajo las condiciones que fija la norma.

Ejemplos de ventilación en la instalación de turbinas de gas

Una turbina de gas es una potencial fuente de ignición y también de liberación de gases inflamables.

Las turbinas de gas no deben emplazarse en áreas clasificadas como Zona 1 o Zona 2.

Las turbinas de gas se deben instalar en cabinas cerradas, con el propósito de reducir el nivel de ruidos, y asimismo para generar un área segura por aplicación de un sistema de ventilación por dilución, el que a su vez cumple funciones de enfriamiento del equipo.

La ventilación de la cabina acústica de la turbina debe ser proporcionada por un sistema principal, y adicionalmente debe tener el respaldo de un sistema stand-by. Este último debe arrancar en modo automático en caso de fallo del sistema principal, y debe ser alimentado por una fuente de energía de emergencia, independiente del sistema de energía normal, y ser adecuado para su operación en Zona 1.

Una vez detenida la turbina, el sistema de energía auxiliar debe ser capaz de mantener en servicio el sistema de ventilación hasta que las superficies calientes de la turbina se hayan enfriado por debajo de la temperatura de autoignición de la mezcla gas-aire que es de esperar se presente dentro de la cabina.

La presión diferencial debe ser proporcionada del siguiente modo:

- Depresión: cuando la turbina está ubicada en un área segura.
- Sobrepresión: cuando la turbina está ubicada en un área peligrosa.

En ambos casos, se debe iniciar una alarma en la Sala de Control, si la presión diferencial cae por debajo de los 25 Pa (0,25 mbar).

Los equipos eléctricos dentro de la cabina, deberán ser certificados para su uso en Zona 2 como mínimo, mientras que aquellos que necesariamente deben quedar en servicio en caso de fallo del sistema de ventilación, deberán ser aptos para su operación en Zona 1.

El interior de la cabina debe ser ventilada antes de energizar cualquier equipo eléctrico no adecuado para su uso en Zona 1. La ventilación de purga deberá ser certificada para operar en Zona 1, y debe asegurar un mínimo de 5 renovaciones de aire.

Las tomas de aire fresco del sistema de ventilación se deben situar en una zona segura, distante al menos 2 m de cualquier área clasificada como peligrosa, y aguas arri-

ba de los vientos preponderantes respecto del resto de las instalaciones.

En cuanto a las descargas del sistema de ventilación, deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Serán considerados como fuentes de ignición y, por lo tanto, sus bocas de descarga estarán situadas a no menos de 2 m de cualquier zona de peligro.
- Su temperatura máxima de la piel (riesgo de quemaduras) deberá evaluarse. Se determinará si debe estar situado fuera de las zonas de riesgo y/o equipado con un aislamiento térmico adecuado.

A continuación se muestran los esquemas correspondientes a la instalación de dos turbinas en su correspondiente cabina acústica. La primera opera como maquina motriz de un compresor que genera una Zona 2 en el emplazamiento del conjunto turbina-compresor, y en consecuencia la cabina resulta con sobrepresión interna (Figura 5). La segunda impulsa un generador, por consiguiente resulta ubicada en una zona segura y la cabina presenta una depresión interna (Figura 6).

Conclusiones

La importancia significativa que tiene la ventilación en el tratamiento de las atmósferas gaseosas explosivas, se evidencia por cuanto, como lo expresamos en un principio, los procesos con sustancias inflamables que tienen lugar en nuestra industria, conllevan inexorablemente a probabilidad cierta de tener presente una atmósfera explosiva, y es mediante un adecuado sistema de ventilación que, con el debido respaldo normativo, podemos compensar sustancialmente esa condición operativa, posicionándonos por debajo del límite inferior de explosividad, en una condición de funcionamiento segura. ■

Bibliografía

- Normas IRAM-IEC 60079 y AEA-IRAM 60079, con todas sus partes.
- Normas IEC 60079, BS 5345 parte 1 a 9 y UNE 20322.
- IP Code, Part 15, del *Institute of Petroleum*, UK.
- Seguridad Industrial en Atmósferas Explosivas, Laboratorio Oficial J. M. Madariaga, Universidad Politécnica de Madrid.
- Instalaciones en Atmósferas Explosivas, Normas IEC, EN y Directivas ATEX 94/9/EC y 99/92/EC, curso de entrenamiento en Laboratorio de Certificación de EPSILON Compliance, Chester, UK.
- Explosion Protection Manual*, de BBC.
- API RP 505 *Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2*.
- NFPA 37 *Installation and use of stationary combustion engines and gas turbines*.
- NFPA 921 *Guide for Fire and Explosion Investigations*.
- Especificaciones y Prácticas recomendadas de TOTAL.