

TÉCNICAS DE PREVENCIÓN PARA ATMÓSFERAS GASEOSAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS.

Autor: Ing. Gustavo A. Parajuá.

Empresa: Total Austral S.A.

Sinopsis:

El propósito del presente trabajo es recorrer la metodología y técnicas de prevención que, con adecuado respaldo normativo, han de emplearse para minimizar los riesgos de explosión asociados a las atmósferas gaseosas.

La realización de la Clasificación de Áreas de las instalaciones en cumplimiento con las normas internacionales, además de salvar una exigencia claramente establecida en la legislación vigente, constituye la única herramienta idónea para conocer la probabilidad en cuanto a la presencia de una atmósfera explosiva.

Estos estudios se complementan con el conocimiento de los Modos de Protección del equipamiento definidos en las normas y disponibles en el mercado. Se determina de tal forma el Modo de Protección compatible con la clasificación de área realizada, así como la correcta instalación y mantenimiento de ese equipamiento, su marcación, identificación y certificación, etc.

Se obtendrá de este modo una documentación técnica con sólidos fundamentos normativos, que posibilitará una efectiva disminución de la vulnerabilidad de la empresa al minimizar los riesgos de daños propios, al medio ambiente y a terceros, la racionalización de las inversiones en relación a sus instalaciones, la reducción de la prima de los seguros, y finalmente permitirá establecer los límites en las responsabilidades legales de profesionales, directivos y empresas.

Introducción:

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, transformación, transporte, almacenamiento, etc. 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 no desarrollará nunca niveles de energía como para inflamar la atmósfera gaseosa circundante. La evolución y 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 en unas cotas aceptables, y lo más próximo posible al denominado "riesgo catastrófico".

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. Proveer de ventilación adecuada para minimizar el tamaño de las áreas generadas por los posibles escapes.
3. Clasificar las áreas en zonas de riesgo por presencia de atmósfera explosiva, delimitando el tamaño de las mismas y cuantificando el riesgo.
4. Evitar en la medida de lo posible, la instalación en los emplazamientos peligrosos de todo equipo que puede inflamar la eventual mezcla explosiva, y de ser absolutamente necesario, lo que rigurosamente sucede en la mayoría de los casos, utilizar equipos eléctricos provistos con un modo de protección normalizado.

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, ha de ser la correspondiente al riesgo catastrófico, con tiempo medio entre fallos del orden de 30 años.

En adelante, cuando se haga referencia a la norma, sus requerimientos etc., nos estaremos refiriendo a la IEC 60079, o **IRAM-IEC 60079** “Materiales eléctricos para atmósferas gaseosas explosivas”, con todas sus partes.

Conceptos básicos:

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 usualmente también por llamas y humo.

El requerimiento en cuanto a la presencia simultánea de los tres componentes citados, da lugar a denominado “**Triángulo de Fuego**” que muestra la siguiente figura, 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.

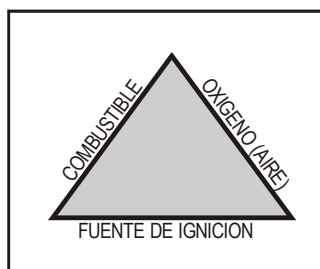


Fig. 1

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 es así, en cuanto a 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 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 aquí vertidos pueden extenderse, en sus términos más generales, a los casos de polvos o fibras combustibles.

Así mismo 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 indefinidamente 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, etc., 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 siguiente Fig.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, etc. que describiremos brevemente a continuación, dependen fuertemente de varios factores externos, como son 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, etc.

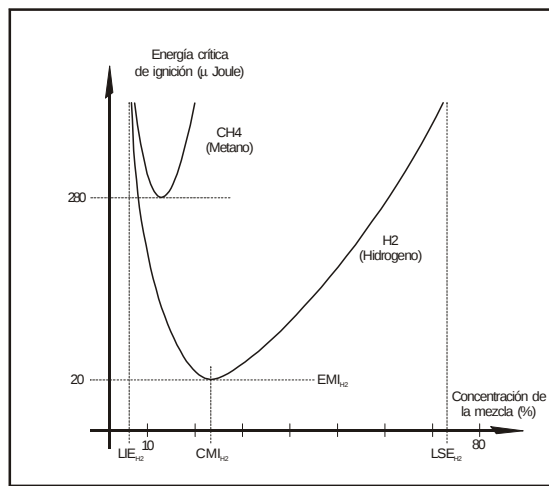


Fig. 2

Se determinan de este modo, 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:

- ✓ **"Límite inferior y superior de explosividad" (LIE y LSE):** 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):** es aquella concentración para la que se requiere la mínima cantidad de energía para producir la inflamación de la mezcla.
- ✓ **"Energía mínima de ignición" (EMI):** es la menor cantidad de energía que puede producir la combustión de la mezcla considerada. En tal caso, la mezcla deberá estar en su CMI.

Otros conceptos de suma utilidad son:

- ✓ **Punto de destello (Flash point):** es la menor temperatura a la cual, bajo ciertas condiciones normalizadas, un líquido desprende de su superficie libre, una cantidad de vapores tal que puede formar una mezcla inflamable. En otras palabras, se la puede definir como la temperatura más baja de un líquido inflamable, que hace que en la interfase líquido/aire, se alcance la concentración correspondiente al LIE.
- ✓ **Temperatura de ignición de una atmósfera gaseosa explosiva (TI):** es la menor temperatura de una superficie que se calienta bajo condiciones específicas de ensayo (s/

IRAM-IEC 60079-4 parte 4), que producirá la ignición de una sustancia inflamable de gas o de vapor mezclada con aire.

- ✓ **Temperatura superficial máxima:** es la mayor temperatura que puede alcanzar en servicio, en las condiciones más desfavorables (pero dentro de las tolerancias), cualquier pieza o superficie de un material eléctrico que pueda producir la ignición de la atmósfera circundante. Las condiciones más desfavorables comprenden las sobrecargas, así como las situaciones de falla reconocidas en la norma correspondiente al modo de protección considerado.

Las instalaciones industriales se diseñan de tal 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.

Ahora bien, el suceso explosión es la conjunción de los sucesos independientes:

- ✓ Formación de una atmósfera explosiva en un emplazamiento.
- ✓ Que un equipo situado en dicho emplazamiento, aporte una manifestación energética capaz de inflamar la atmósfera explosiva.

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

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

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 $P_{A \text{ Exp}}$ y $P_{F.Ig.}$. El objetivo por lo tanto, al diseñar una instalación en donde se procesan sustancias inflamables, es 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 ($P_{A \text{ Exp}}$), 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.

Como veremos más adelante, 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} (ver Fig.3). En forma general, puede admitirse que, en Zona 0 la probabilidad de tener presente una atmósfera explosiva es la unidad (se adopta $> 10^{-3}$), mientras que el modo de protección permitido es el de Seguridad Intrínseca " i_a ", con una probabilidad de fallo capaz de inflamar justamente del valor deseado 10^{-12} .

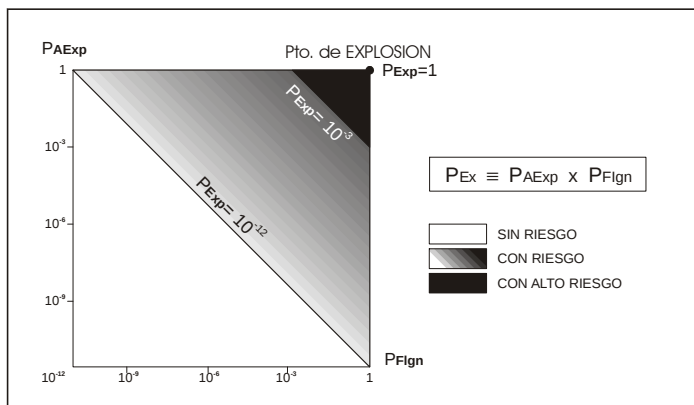


Fig. 3

Clasificación de Áreas:

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, sistemas e instalaciones eléctricas a utilizar 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, concentración, ventilación, etc., todo lo cual permite definir el tipo y extensión del emplazamiento peligroso.

La norma establece una primera clasificación de dichos 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, vale decir que 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:** Es 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 ó cortos períodos pero que se producen frecuentemente.
- Zona 1:** Es aquella en la que una atmósfera de gas explosiva se prevé pueda estar presente en forma periódica u ocasional durante el funcionamiento normal.
- Zona 2:** Es aquella en la que una atmósfera de gas explosiva no se prevé 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 tales, como para requerir precauciones especiales para la construcción, la instalación y el uso de los materiales eléctricos.

Para poder realizar la Clasificación de Áreas, vale 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:

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 destinado a las minas de carbón (grisú).

Grupo II: Materiales eléctricos destinados a otras industrias.

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 a 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 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 tal que pueda formarse una atmósfera gaseosa explosiva, y las clasifica, según la duración y frecuencia del escape, en "de grado continuo", "de primer grado", "de segundo" o 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. Ej.: la internase entre el líquido combustible y la atmósfera interior de un tanque.

Zona 1 - Fuente de escape de grado primario. Ej.: El sello de una bomba.

Zona 2 - Fuente de escape de grado secundario. Ej.: Fugas en bridas y accesorios de tuberías.

Cabe mencionar que los ejemplos son dados con un propósito orientativo y de carácter muy general, de tal modo que no debe interpretarse que en todos los casos, por ejemplo, el sello de una bomba, de un compresor, válvula, etc. es indefectiblemente una fuente de escape de primer grado, que genera una Zona 1. Será así solo si por sus características técnicas, calidad, etc. es de esperar que en funcionamiento normal pueda liberar sustancias inflamables. Si por el contrario se avalúa 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 todo lo dicho en relación al sello citado, es válido solo en combinación con una ventilación adecuada, en cuanto a su intensidad y disponibilidad, mientras que si tenemos nuestro sello grado primario en un emplazamiento con ventilación inadecuada, el mismo generará una Zona 0, mientras que si se trata del de grado secundario, generará una Zona 1.

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 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. Tipo de ventilación.

Las normas clasifican la ventilación, según su intensidad o grado, en alta (VA), media (VM) y baja (VB), y según su "disponibilidad", en alta, normal y pobre. La idea fundamental radica en que el gas o vapor liberado, se puede diluir por dispersión o por difusión en el aire, hasta que su concentración esté K veces por debajo del "límite inferior de explosividad LIE" (K, "Coef. de Seguridad": 4 para escape grado continuo y/o primario, y 2 para escape grado secundario). Se

debe tener en cuenta el tipo de fuente de escape y su correspondiente caudal de escape, así como la δ , la presencia de obstáculos, dirección del viento, la existencia de zonas bajo el nivel del suelo y en consecuencia mal ventiladas, etc. Como ya lo mencionamos recientemente al tratar el tema de las fuentes de escape y su correlato con el tipo de zona, la ventilación puede declasificar el área o emplazamiento (disminuir la calificación de la zona, o su tamaño) como lo indica la siguiente tabla.

VENTILACIÓN	GRADO	VA			VM			VB
	DISPONIBILIDAD	ALTA	NORMAL	POBRE	ALTA	NORMAL	POBRE	
GRADO DE ESCAPE	CONTINUO	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)		Zona 0	Zona 0	
		Sin Riesgo	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 2	Zona 1	Zona 0
	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	*o Zona 0

Tabla 1

En la cual:

(Zona X ED) Zona X de extensión despreciable.

* Cuando han zonas que pueden definirse como “Sin ventilación”.

+ Significa “rodeada por”.

Se recomienda que las instalaciones en donde se procesan, manipulan o almacenan sustancias inflamables, se diseñen de manera tal que las áreas peligrosas, particularmente las Zonas 0 y 1, sean mínimas, tanto en número como en extensión. Se debe tratar de reducir o limitar las fuentes de escape, a los efectos que la velocidad de liberación sea muy limitada. Así mismo, las normas refieren a la necesidad de emitir una nueva revisión de la clasificación de áreas, toda vez que se lleven a cabo modificaciones en los equipos, en las instalaciones, en los procesos y en los procedimientos operativos.

Finalmente creemos conveniente aclarar que si bien las normas se refieren a “áreas” cuando refiere a los emplazamientos con riesgo de explosión, las mismas normas aclaran debidamente que estas “áreas” deben interpretarse y graficarse como regiones o espacios tridimensionales (planos con vistas en planta y en elevación).

Modos de Protección:

Se definen los modos de protección como “una serie de reglas constructivas y requisitos técnicos, de aplicación en el diseño, la producción y el control de los materiales y equipos eléctricos, de forma tal que sean seguros y aptos para su utilización en una atmósfera explosiva específica”. En cumplimiento de estos requisitos, los equipos resultan con una baja probabilidad de que en condiciones de operación, y aún en situación de fallo, puedan producir focos de ignición.

Es muy importante advertir que en la definición dada, se explicita que el modo de protección será el adecuado para una “atmósfera explosiva específica”. Como veremos en el desarrollo del tema, las características particulares del gas (TI, EMI, grupo de gases, etc.) hacen a la definición de las características particulares del modo de protección aplicable. Por tal razón, y por dar un ejemplo, no

será suficiente con especificar que el equipo X es antidefragante (Ex "d") para dar por válida su instalación y uso en un determinado emplazamiento peligroso, sino que habrá que adicionarle al dato Ex "d", para qué mezcla gaseosa específica está aprobado ese equipo.

La ignición de una atmósfera explosiva puede originarse por la acción de cuatro tipos fundamentales de fuentes de energía:

- ✓ Arcos eléctricos.
- ✓ Cuerpos a alta temperatura.
- ✓ Chispas de origen mecánico.
- ✓ Chispas de origen electrostático.

El empleo de material eléctrico en el seno de ambientes potencialmente explosivos, da lugar a riesgos de ignición originados principalmente por arcos y chispas producidos por aperturas y cierres de circuitos, o al calentamiento por efecto Joule ó pérdidas por histéresis.

Las directivas europeas **ATEX 100 (Directiva 94/9/CE)**, entendiéndose que varias de las fuentes de energía mencionadas no son desarrolladas exclusivamente por materiales eléctricos, han extendido la obligatoriedad de disponer de modos de protección para ambientes peligrosos, a los materiales y equipos no-eléctricos.

Vale mencionar en este punto, que de acuerdo a las normas, los equipos o materiales eléctricos en los que simultáneamente, las tensiones, intensidades de corriente, energía y potencia puesta en juego, son inferiores respectivamente a 1,2V, 0,1A, 20μJ y 25mW, no requieren certificación, ni marcado, considerándose los no peligrosos.

Como primera medida en procura de definir el material eléctrico apto para su aplicación en una atmósfera explosiva particular, al mismo se lo clasifica según su **Clase de Temperatura**. La tabla siguiente muestra la relación existente entre la Clase de Temperatura del material eléctrico, su "temperatura superficial máxima" y la "Temperatura de ignición de la atmósfera gaseosa explosiva TP".

CLASE DE TEMPERATURA	TEMP. SUPERF. MÁXIMA DEL MATERIAL ELÉCTRICO.	TEMP. DE IGNICIÓN DEL GAS O VAPOR.
T1	≤ 450 °C	≥ 450 °C
T2	≤ 300 °C	≥ 300 °C
T3	≤ 200 °C	≥ 200 °C
T4	≤ 135 °C	≥ 135 °C
T5	≤ 100 °C	≥ 100 °C
T6	≤ 85 °C	≥ 85 °C

Tabla 2

La "temperatura superficial máxima" del material eléctrico, deberá estar indefectiblemente, por debajo de la menor temperatura de ignición de las atmósferas gaseosas explosivas para las cuales está diseñado y aprobado. Vale decir que todo material eléctrico que opere en una atmósfera gaseosa explosiva, aparte de su modo de protección, o como complemento de este, deberá ser seguro frente a la posible inflamación de esa atmósfera gaseosa explosiva particular, por efecto de la temperatura. Advertimos en esta consideración, el cumplimiento de lo manifestado en relación a que la protección refiere a una atmósfera explosiva específica.

El rango de temperatura ambiente será de -20 °C a 40 °C, salvo que se indique de otra forma en el marcado.

Solo si el material eléctrico está asociado a un sistema de Seguridad Intrínseca, y por lo tanto aprobado con ese modo de protección (que citaremos más adelante), no requerirá clasificación por temperatura.

Respecto de los modos de protección, si bien no es objeto del presente trabajo describir cada uno de ellos en detalle, comentaremos las características distintivas de los más difundidos, y para ello comenzaremos por mencionar que las técnicas empleadas para definir cada modo, se basan en tres tipos de soluciones:

1- Confinar la eventual explosión controlando sus efectos.

Responde a esta solución, el modo de protección conocido como **Envolvente Antideflagrante** "d", según IRAM-IEC-60079 Parte 1.

El mismo se define como "Modo de Protección en el cual el material eléctrico capaz de inflamar la atmósfera explosiva está contenido en una envolvente (no estanca) resistente a la presión de una eventual explosión interna, al mismo tiempo que impide que dicha explosión se propague a la atmósfera circundante, externa a la envolvente."

Estas cualidades se logran a partir de determinadas características relativas a la resistencia mecánica de la envolvente, de limitar debidamente su temperatura superficial, y principalmente, a través de un adecuado y particular diseño de las denominadas "**juntas antideflagrantes**", formadas por las uniones de las diferentes partes de las envolventes, ejes y varillas de accionamientos (longitud y tipo de junta, e IEMS: intersticio experimental máximo de seguridad – ver Fig. 4).

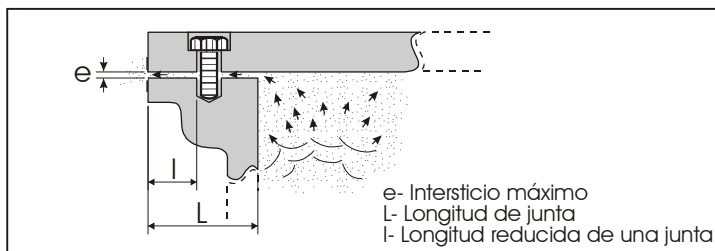


Fig. 4

Es necesario clarificar que cuando la norma establece que la envolvente deberá ser capaz de resistir la presión desarrollada por una explosión interna, el requerimiento establece que la envolvente no deberá sufrir deformaciones permanentes, de tal modo, que no se vean alteradas las "juntas antideflagrantes", responsables del cumplimiento del segundo requerimiento, esto es la no transmisión de la explosión a la atmósfera circundante exterior.

El estudio experimental de las explosiones muestra que para cada gas, existe una determinada longitud de junta y un determinado intersticio, para los cuales, una explosión originada en el interior de una envoltura no estanca, no se transmite al exterior de dicha envolvente.

El **IEMS** es el mayor intersticio de una junta de 25mm de longitud que impide toda transmisión de una explosión al realizar 10 ensayos de acuerdo a la norma IRAM-IEC 60079-1. Es justamente a partir de este IEMS, que se clasifican las Envolventes Antideflagrantes, por cuanto genera una subdivisión A, B y C para el grupo de gases II.

- ✓ **Grupo I:** IEMS = 1.14mm (metano - solo para minas).
- ✓ **Grupo II A:** IEMS = 0.92mm (propano).
- ✓ **Grupo II B:** IEMS = 0.65mm (etileno).
- ✓ **Grupo II C:** IEMS = 0.35mm (hidrógeno).

En particular el Grupo IIC no admite juntas antideflagrantes planas, dado que algunos gases de dicho grupo pueden proyectar partículas incandescentes.

Este modo de protección es sumamente versátil por cuanto permite la utilización de materiales y componentes eléctricos convencionales en el interior de la envolvente, sometidos únicamente a la limitación de su disipación térmica, que evidentemente puede afectar a la clase térmica de la envolvente, y a unas condiciones particulares en cuanto a la ubicación y distribución de los componentes en su interior, a fin de evitar fenómenos de precompresión ("**pressure piling**" – Una mezcla precomprimida desarrolla, al presentarse la fuente de ignición, una presión de explosión muy superior a la de una mezcla a la presión atmosférica, que es precisamente la condición de los ensayos de certificación la de envolvente). Justamente por estas razones es que una envolvente antideflagrante vacía, aún certificada, no puede instalarse en una atmósfera gaseosa explosiva, salvo que solo se la utilice como caja de conexión (solo bornes en su interior), y si por el contrario, aloja en su interior otros equipos eléctricos, como pueden ser de comando, protección, medición, etc., entonces requerirá un certificado que apruebe la disposición de esos materiales en el interior de la envolvente, que evalúe

y determine la clase de temperatura del conjunto, y que finalmente habilite al conjunto para su uso en una atmósfera explosiva específica. Veremos más adelante, al tratar el marcado según norma de estos materiales, que las envolventes vacías son certificadas como componente (componente de un equipo o instalación mayor), y no como un equipo completo y disponible para su aplicación.

Finalmente es importante destacar que si como fuera dicho, en el interior de la envolvente se pueden instalar materiales eléctricos convencionales, para los materiales o equipos provistos con este modo de protección, la temperatura que condiciona y determina la Clase de Temperatura es la que alcanza su superficie exterior.

2- Separa la atmósfera explosiva del aporte energético

Los modos de protección que aplican este criterio, que se basa esencialmente en impedir que se establezca el triángulo del fuego que vimos en la Fig.1, son:

- ✓ Inmersión en aceite "o"
- ✓ Relleno pulverulento "q"
- ✓ Encapsulado "m" (embebidas con resina)
- ✓ Sobre-presión interna "p" (gas de protección a una presión mayor que la del medio circundante).

La técnica de la **“Sobre-presión interna” Ex “p”** según IRAM-IEC 60079 Parte 2, es de mucha utilidad por cuanto, además de aplicarse a equipos de gran potencia donde sería antieconómico la utilización de modos de protección como el Ex “d”, se aplica en la protección de salas que resultan ubicadas en zonas peligrosas o adyacentes a ellas.

Se define como protección por sobre-presión interna, aquella en la que “el material eléctrico está provisto de una envolvente, o bien está instalado en una sala, en la que se impide la entrada de los gases o vapores inflamables del medio circundante, manteniendo en su interior aire u otro gas inerte (no inflamable) a una presión superior a la de la atmósfera exterior”.

El aire o gas inerte no inflamable se aplica ya sea por “dilución continua”, es decir aportándolo en forma permanente, o bien por “compensación de fugas”, vale decir aportando únicamente aquella parte de gas que se pierde por las juntas. La puesta en servicio de los sistemas provistos con este modo de protección exige una serie de controles a fin de garantizar la ausencia de mezcla explosiva en el interior de la envolvente presurizada en el momento de energizar los sistemas, lo cual se logra con un barrido previo con el gas de protección, de al menos 5 veces el volumen libre interno. El control de sobre-presión interna, que será de al menos 0.5 mBar, ha de asegurarse mediante dispositivos tales como presostatos diferenciales, los cuales desenergizarán el equipo, y darán alarma, en caso de descender la sobre-presión por debajo del valor mínimo dado.

En el mercado existen proveedores que disponen de sistemas de presurización certificados como Ex “p”. Estos sistemas han sido aprobados y certificados por cuanto cumplen con todos los elementos de control, monitoreo, protección, etc. que exige la citada norma IEC 60079 Parte 2. Cuando requerimos este modo de protección, el proveedor del equipo en cuestión, supongamos el de un motor de media tensión, deberá recurrir normalmente a estos sistemas ya certificados, para que se evalúe la aplicación en particular que se necesita (tamaño del equipo, forma en cuanto a zonas de difícil acceso o barrido, etc.), se definan las calibraciones y ajustes que corresponden al caso (caudal, tiempo de barrido, alarma y corte por caída de la presión diferencial, etc.), y finalmente se gestione y obtenga de parte de un laboratorio reconocido, un certificado Ex “p” que cubra al conjunto “sistema de presurización – motor” específico (con marca, modelo, etc. de cada equipo, en este caso del motor y del sistema de presurización) que se va a instalar.

3- Reducir la energía ó impedir su aporte en forma de chispa, arco o calentamiento.

Se basan en esta solución, los siguientes modos de protección:

- ✓ Seguridad aumentada "e".
- ✓ Seguridad intrínseca "i".
- ✓ Antichispa "n".

Cabe mencionarse en este punto, que la división en subgrupos A, B y C que se ha mostrado para el grupo de gases II a partir de la distinta capacidad de los intersticios para transmitir una explosión desde el interior de una envolvente según la naturaleza de la mezcla gaseosa de que se trate, es válida también para clasificar los distintos gases a partir de la diferente inflamabilidad de estos por acción de chispas o arcos de origen eléctrico o efecto térmico. De tal forma se llega experimentalmente a la

siguiente tabla, en la que se muestra la subdivisión de los gases, y las diferentes relaciones de la mencionada EMI (Energía Mínima de Ignición – Ver Fig. 2), tomando como unidad a la del metano (EMI para el Grupo I, metano = 280μJ).

GRUPO	EMI / EMI del CH4	μJ
I	1	280
II A	>0,8	250
II B	>0,45 ; <0,8	96
II C	<0,45	20

Tabla 3

De modo equivalente a como los subgrupos IIA, IIB y IIC hacen a la clasificación de las diferentes Envoltura Antideflagrante Ex "d" según el IEMS, esos mismos subgrupos hacen a la clasificación de los materiales y sistemas con modo de protección **Seguridad intrínseca Ex "i"**, a partir de las diferentes EMI.

Justamente la Seguridad Intrínseca se define como "las medidas adoptadas en un circuito eléctrico para que ninguna chispa, arco o efecto térmico, producido en las condiciones de ensayo previstas en la norma (IRAM-IEC 60079-11), bien sea en funcionamiento normal o en condiciones específicas de falla, sea capaz de provocar la inflamación de una atmósfera explosiva dada". Resulta entonces inmediato advertir que este modo de protección se basa en la EMI, por cuanto es diseñado de modo tal que la energía puesta en juego esté siempre por debajo, con un adecuado margen de seguridad, de la curva de la "Energía Crítica de Ignición" correspondiente a la mezcla gaseosa particular de la que se trate (ver Fig. 2).

En definitiva los gases se clasifican a partir del intersticio experimental máximo de seguridad (IEMS) y de la energía mínima de ignición (EMI), en los subgrupos IIA, IIB y IIC según decrecen los valores de IMES y EMI, estableciéndose en los certificados de conformidad de los equipos, el subgrupo de gases para el que son adecuados. Finalmente corresponde advertir que, como resultará razonable interpretar, la selección del material certificado se deberá hacer teniendo en cuenta lo siguiente:

Equipos certificados	Son válidos para gases del subgrupo
II C	II A, II B, II C
II B	II A, II B
II A	II A

Tabla 4

Obviamente que para los restantes modos de protección no basados en impedir la transmisión de una explosión interior o en que eventuales chispas o manifestaciones energéticas no tengan poder inflamatorio, el concepto de subgrupo de gases carece de todo sentido.

Dada su importancia y aplicación, describiremos brevemente a la **Seguridad Aumentada Ex "e"** (según IRAM-IEC-60079 Parte 7), que se define como "aquella protección en la que se toman ciertas precauciones especiales para evitar, con un coeficiente de seguridad elevado, calentamientos inadmisibles ó la aparición de arcos ó chispas en el interior y sobre las partes externas del material eléctrico que, en condiciones normales, no se producen".

A partir de su definición es inmediato que no será de aplicación en materiales que producen arcos o chispas, como motores con escobillas o interruptores de corriente, centrándose en dispositivos con devanados como son los motores asíncronos, los transformadores, electroimanes, etc., así como dispositivos de conexión, luminarias, etc. Su concepción está fuertemente basada en la limitación del calentamiento. Asimismo el código IP de las envolturas de estos equipos debe ser como mínimo igual a IP54 (según IEC 60529). En relación los bornes de conexión, los mismos son de dimensiones generosas, con diseño tal que los conductores no puedan cizallarse, ni aflojarse.

Es sumamente importante advertir que a diferencia de lo indicado en relación a la Envoltura Antideflagrante Ex "d", en el caso de la Seguridad Aumentada Ex "e", para la cual su envoltura no

tiene la resistencia necesaria para confinar una explosión interna, la temperatura que condiciona y determina la Clase de Temperatura, es la máxima alcanzada por cualquier superficie externa o interna del material. Es por esta causa, que en el caso de cajas de conexión o de comando, tableros, etc., provistos con este modo de protección Ex "e", todos los componentes eléctricos externos e internos deben ser también certificados.

Este modo de protección está principalmente condicionado por su diseño, en cuanto a la temperatura, y por el mantenimiento, en particular lo relacionado con la limpieza y la conservación del grado de protección IP de la envolvente.

De acuerdo con la norma, cuando el modo de protección por sí solo no pueda garantizar que el equipo no supere la temperatura admisible determinada por la Clase de Temperatura, entonces se deben adoptar medidas de seguridad adicionales mediante el empleo de protecciones eléctricas adecuadas.

Este es el caso de la protección de sobrecarga de los motores eléctricos, la que requiere un cuidado especial. El diseño de la protección del motor debe ser tal que no puedan producirse fuentes de ignición, no sólo en condiciones de operación normal, sino también en caso de rotor bloqueado, u otra avería. La condición de operación más desventajosa, corresponde a cuando, estando el motor a régimen nominal y estabilizado térmicamente en un ambiente a la máxima temperatura prevista (40 °C), se produce un bloqueo del motor. En tal circunstancia, dado que el motor está detenido y a tensión nominal, el mismo se encuentra en la condición de arranque, pasando a absorber la corriente de arranque que es varias veces la corriente nominal (recordemos que las pérdidas por efecto Joule son proporcionales al cuadrado de la corriente). Adicionalmente, al estar bloqueado, el motor no está siendo ventilado (el motor eléctrico en general se auto refrigera mediante la operación de un ventilador montado sobre su propio eje). Todo ello conduce a un aumento de la temperatura de los devanados del motor, que puede alcanzar rápidamente la temperatura de ignición de la mezcla explosiva circundante.

Para poder garantizar que esta situación se mantenga dentro de los márgenes de seguridad que establece la norma, la misma define el **Tiempo de Seguridad t_E** , como "el tiempo en el que el motor alcanza la temperatura límite definida por la clase de aislamiento de los devanados, cuando estando el motor a la temperatura de régimen nominal correspondiente al límite de la tolerancia más desfavorable, se bloquea su rotor, y se mantiene dicha situación".

Esa temperatura límite definida para cada clase de aislamiento, se determina a partir de las condiciones límites para las que se conservan las características de estabilidad térmica de cada clase de material, y obviamente corresponden a una sobrecarga de corta duración. La siguiente tabla muestra dichos valores para cada clase de aislamiento, junto a los valores de temperatura máxima admitida por esos materiales aislantes en régimen nominal (en modo permanente).

Clase de Aislamiento	A	E	B	F	H
Temp. Límite a carga nominal °C	90	105	110	130	155
Temp. Límite al final del tiempo t_E °C	160	175	185	210	235

Tabla 5

La norma establece que los motores con modo de protección por seguridad aumentada, deberán diseñarse de tal modo, que su curva de calentamiento para el caso planteado de bloqueo del rotor, deberá evidenciar un Tiempo de Seguridad t_E , que en ninguna circunstancia podrá ser inferior a los 5 segundos, y que preferentemente debe superar los 10 segundos.

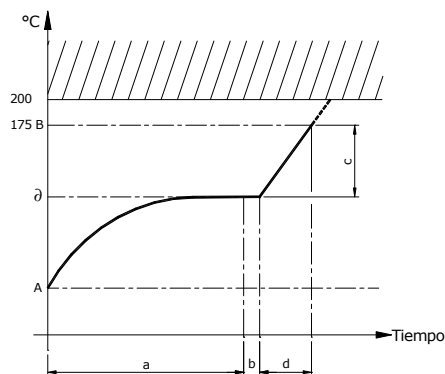
Claro está que esta temperatura límite al final del tiempo t_E , debe ser necesariamente menor que la de ignición de la mezcla gaseosa presente.

La protección de sobrecarga del motor Ex "e" debe actuar en un tiempo inferior al de seguridad t_E . Esta condición debe verificarse por norma, para el relé en su velocidad de respuesta más lenta, vale decir, con su característica "fría" a 20 °C y el tiempo de respuesta de la protección debe estar garantizado con una incertidumbre de +/- 20% del valor nominal.

Finalmente digamos que el Tiempo de Seguridad t_E , así como la relación I_a/I_n , siendo I_a la corriente de arranque, e I_n la nominal, son datos que se especifican en el certificado de conformidad

del motor, y que asimismo forman parte de la información que por norma deben indicarse en la placa de características.

El gráfico de la siguiente figura corresponde al caso de un motor asincrónico Ex "e", con clase de temperatura T3 (temperatura máxima superficial de 200 °C, y lógicamente temperatura de inflamación de la mezcla gaseosa por arriba de esos 200 °C) y de aislación clase E.



- A: Temperatura ambiente (máx. 40°C).
- a: Tiempo necesario para alcanzar la temp. de servicio en régimen nominal.
- ∂: Temperatura alcanzada en régimen nominal.
- b: Breve período de reposo.
- B: Temp. límite para el aislamiento clase E.
- c: Incremento de Temp. con rotor bloqueado.
- d: Tiempo de seguridad "t_E".

Fig. 5

Es importante señalar que la norma especifica distintas recomendaciones y exigencias para casos especiales, como son los motores de arranque frecuente, de rotor crítico, arranque difícil, etc.

También se define un Modo de Protección Especial "s" que corresponde a medidas constructivas no definidas en los modos de protección descriptos precedentemente, o que responde a una combinación de los mismos, pero que garantizan de todos modos su empleo seguro en áreas clasificadas con riesgo de explosión.

Finalmente, y una vez caracterizados los emplazamientos en los que se ubicará la instalación eléctrica, la selección del correspondiente material eléctrico se realizará cumplimentando simultáneamente los siguientes 3 requisitos:

1. Su Modo de Protección deberá ser adecuado a la Zona según la siguiente Tabla 6.
2. Su Clase de Temperatura, o máxima temperatura superficial, debe ser inferior a la temperatura de inflamación más baja entre los gases presentes.
3. El Grupo de Gases sea el adecuado (subgrupo para los casos "d" e "i").

ZONA			MODOS DE PROTECCIÓN
0	1	2	Seguridad Intrínseca i _a
			Especial (s) para zona 0
			Todo modo de Protección apto para zona 0
			Seguridad intrínseca i _b
			Envoltorio antideflagrante d
	1	2	Seguridad aumentada e
			Sobrepresión interna p
			Inmersión en aceite o
			Encapsulado m
			Especial (s) para zona 1
			Todo modo de Protección apto para zona 0 y 1
			Relleno pulverulento q
		2	Antichispa n
			Equipos convencionales con ciertos requisitos complementarios

Tabla 6

Existe una idea bastante generalizada, y errónea, en relación a que hay Modos de Protección que son más que otros en cuanto a su capacidad de proteger las instalaciones frente al riesgo de producirse la ignición de la mezcla explosiva presente. Esta Tabla 6 viene a demostrar que, con la obvia salvedad de los modos propios de una zona respecto a los propios de otra zona (en los que efectivamente hay claras diferencias en cuanto a la capacidad de protección, nos referimos por ejemplo a un Ex "p", apto para zona 1, versus un Ex "n", adecuado solo para zona 2), no existe tal diferencia entre los modos de protección propios de una misma zona. Así se tiene que un equipo dotado de un modo de protección Ex "d", no resulta ser más, ni menos seguro, que otro Ex "m" o Ex "ib". Luego, y por citar un ejemplo que resulta bastante común, el argumento por el cual se pretende justificar la instalación de un prensacable o de un tapón ciego Ex "d" en una envolvente Ex "e", por cuanto el primer modo sería más seguro que el segundo, es absolutamente falso. Como hemos visto, los diferentes modos de protección se basan en diferentes soluciones y principios, y es así como, siguiendo con el ejemplo dado, podemos mencionar que en general las conexiones Ex "d" no requieren el nivel de estanqueidad, que sí son exigibles por el Ex "e".

A menos que se trate de un equipo con modo de protección combinado, no se permite por norma mezclar componentes de distintos modos de protección.

El modo de protección combinado, por ejemplo Ex "de", es aquel en el cual, y de acuerdo a lo que expresamente se indica en el correspondiente certificado de conformidad, se tienen componentes que responden a un modo de protección, y componentes que responden a otro modo. Ejemplos muy difundidos de modos de protección combinados son los tomacorrientes o cajas de comando Ex "ed", en las cuales las envolventes son "Seguridad aumentada", generalmente de plástico reforzado y antiestática, los bornes de conexión también son Ex "e", pero los contactos, donde se han de producir los arcos eléctricos, están alojados en pequeñas cámaras "Antideflagrantes" Ex "d". Al tratarse de cámaras de muy pequeño volumen, el poder explosivo es también reducido, y por ello en algunos casos pueden ser construidas en material plástico.

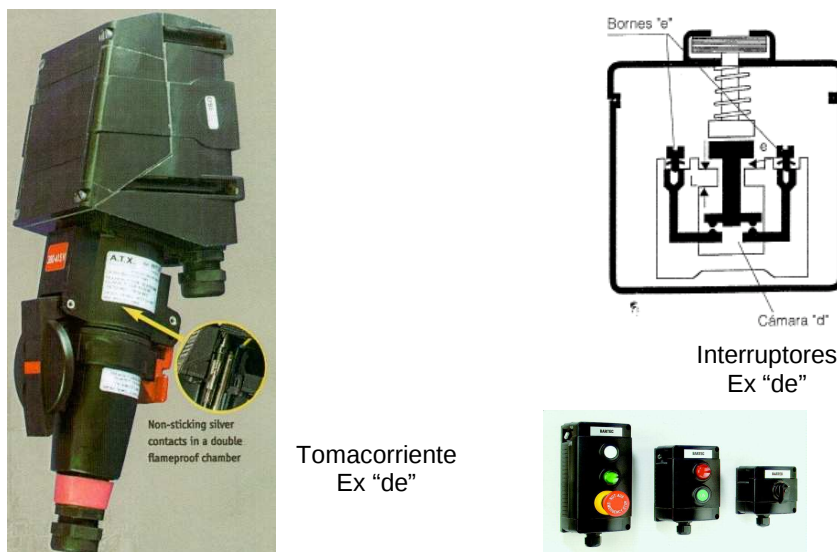


Fig. 6

Otro caso en el que es de esperar se presente una protección Ex con modos combinados, es el de una máquina de potencia elevada, digamos un motor eléctrico, con modo de protección principal por "Sobre-presión interna". Dado que casi con seguridad, será imposible que la caja de conexión de alimentación principal (u otras correspondientes a eventuales sistemas auxiliares como ser sensores de temperatura insertados en el bobinado estático, resistencia de calefacción de reposo, etc.) pueda ser barrida eficientemente, para un puesta en servicio segura del equipo, la misma estará fuera del sistema presurizado, y por lo tanto deberá ser provista con otro modo de protección independiente. Estas

diferentes protecciones deberán estar indicadas expresamente en el certificado Ex global del equipo motor – sistema de presurización.

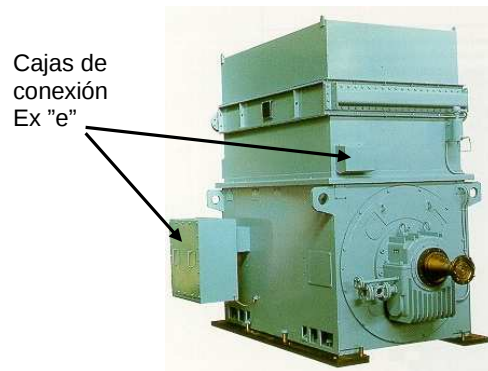


Fig. 7

En síntesis, y como fuera de algún modo ya anticipado, la seguridad en relación a las instalaciones en emplazamientos con riesgo de explosión se consigue básicamente, utilizando equipamiento eléctrico con muy baja probabilidad de crear una fuente de ignición en áreas donde exista una alta probabilidad de presencia de una atmósfera explosiva, mientras que las exigencias para con el material eléctrico se hacen menores en aquellas áreas donde se reduce la probabilidad de ocurrencia de dicha atmósfera explosiva.

Certificación y marcado:

Las normas establecen la obligatoriedad en cuanto a que los equipos con modo de protección sean certificados, y marcados para su identificación.

La certificación implica que un laboratorio independiente autorizado, ha verificado que el diseño y prestación del equipo, es conforme a las reglas del modo o modos de protección que correspondan.

En cuanto a la responsabilidad del fabricante del equipo certificado, las normas establecen en sus “Requerimientos Generales” (IRAM-IEC 60079, Parte 0) que el mismo es responsable en cuanto a que los equipos que suministra sean idénticos a los certificados y que, para los casos en que corresponda realizar ensayos individuales sobre la totalidad de los equipos, estos ensayos han sido realizados con éxito y según los procedimientos establecidos.

Así mismo, todo material eléctrico construido con algún modo de protección, deberá estar marcado de acuerdo a las normas, según la información que se detalla a continuación. El marcado tiene por objeto un adecuado uso, instalación y mantenimiento del equipo certificado.

- ✓ Nombre del fabricante ó marca comercial.
- ✓ Designación dada por el fabricante.
- ✓ Símbolo: Ex (según IEC) ó EEx (según CENELEC: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica). Indica que el material está construido y ensayado para su utilización en atmósferas explosivas.
- ✓ Símbolo del modo de protección. (d, e, p, q, ia, ib, etc. – Puede estar dotado de más de un modo de protección).
- ✓ Símbolo del grupo o subgrupo de gases (I, II, IIA, IIB ó IIC).
- ✓ Clase de temperatura (T1 a T6).
- ✓ Rango de temperatura ambiente de utilización. Se debe indicar, solo en el caso en que difiera del establecido por norma, de -20°C a 40°C.
- ✓ Número de serie (no se exige para material muy pequeño).
- ✓ Siglas del laboratorio o autoridad que emite el certificado, seguido del N° de dicho certificado, el que normalmente comienza con las dos últimas cifras del año de certificación.

Ejemplo:

Nombre del fabricante.
Tipo ó modelo.
Ex de IIB T3
Serie N° 70418
LOM: 97.D.3272 X
No abrir con tensión.

Con formato: Francés (Francia)

En este ejemplo se muestra un equipo dotado de los modos de protección por envoltorio antideflagrante "d", como principal por ser la primera letra, y de seguridad aumentada "e". Por otra parte, está previsto para gases del Grupo IIB y una Clase de Temperatura T3 correspondiente a 200 °C. Se debe advertir en consecuencia, que aún cuando de acuerdo a su IEMS el equipo puede trabajar con cualquier gas del Grupo IIB, y por consiguiente también para todos los del IIA, solo es apto para operar con los gases de estos subgrupos que tengan una temperatura mínima de inflamación superior a los 200 °C.

El número de certificado puede ser acompañado por una letra X, como es el caso del ejemplo, o por una letra U, las que tienen el siguiente significado:

- ✓ X: Indica que el material certificado presenta alguna **condición especial** de fabricación, uso o instalación que es necesario tener en consideración (la misma se explicita en el certificado).
- ✓ U: Indica que el material certificado es un **componente**, entendiéndose por componente un material que no tiene entidad propia como equipo completo. Son ejemplos de componentes las envoltorios vacíos, bornes de conexión, dispositivos de respiración o drenaje, pasamuros, etc. Normalmente cuando se trata de un componente, no se indica la clase de temperatura por cuanto esta estará determinada para el equipo completo donde se aplique el componente, equipo que requerirá un certificado dedicado (por ej. Un borne de conexión de seguridad aumentada se podrá marcar como "Ex e II").

Puede presentarse el caso de un equipo o material certificado para operar en un determinado subgrupo de gases, y que adicionalmente se lo certifica para otro gas particular. Por ejemplo, un material que es aprobado para hidrógeno como gas que se añade al subgrupo inferior IIB, y en tal caso se lo marca como "IIB + H2".

Cuando en el marcado del modo de protección se utilizan corchetes, estos encierran el modo de protección de un material asociado a una instalación apta para su uso en un emplazamiento peligroso, pero que por sí no tiene protección alguna y debe instalarse en zona segura. Así una barrera zener, que es el caso típico de material asociado en Seguridad Intrínseca (es la barrera que limita los niveles de tensión y de corriente con los que se alimentan los sensores Ex "i" instalados en zona peligrosa), se marca, por ejemplo como [Ex ib] IIC, o si necesariamente debe instalarse en un área peligrosa, entonces puede llevar un marcado Ex d[ib] IIC T5 que nos indica que el material asociado de seguridad intrínseca se provee alojado en una envoltura antideflagrante, en este caso para un subgrupo de gases IIC y con temperatura de ignición superior a los 100°C (clase de temperatura T5).

Instalaciones en atmósferas peligrosas:

En términos generales los equipos a operar en áreas peligrosas se deberán instalar de forma tal que el Modo de Protección no se vea alterado ni comprometido, vale decir que, en la medida de lo posible, deben mantenerse en el tiempo insensibles a los efectos ambientales (lluvia, vapores corrosivos, impactos, rayos UV, altas temperaturas, etc.), de modo de conservar inalterables durante su vida útil, aquellas características especiales de diseño, que justamente definen sus Modos de Protección.

Las instalaciones en atmósferas gaseosas explosivas deben realizarse en cumplimiento con la norma IRAM-IEC-60079 Parte 14, mientras que las recomendaciones para la inspección y el mantenimiento son dadas en la Parte 17 de dicha norma, y lo referido a reparaciones en la Parte 19.

En la instalación del equipamiento eléctrico en emplazamientos clasificados, además de la adecuada selección de los mismos según las directivas dadas, referidas al cumplimiento de Modo de Protección / Clase de Temperatura / Grupo o subgrupo de gases, se deberán tener adicionalmente en consideración las siguientes recomendaciones principales. En ellas, con las siglas Ex nos referiremos

a un equipo o material provisto con Modo de Protección, y con el correspondiente certificado de conformidad.

- ✓ Las envolventes Ex no se deben perforar, con la única excepción de ciertas cajas Ex ‘e’, justamente diseñadas para ser perforadas por el usuario (se deberá cuidar de respetar el grado IP de la caja y seguir las recomendaciones que establece el fabricante).
- ✓ Las envolventes de los equipos Ex no se deben pintar, ni cortar, ni soldar, etc.
- ✓ Las juntas antideflagrantes no se deben pintar, ni serán obstruidas en ninguna forma, debiéndoselas proteger de la corrosión mediante la aplicación de una grasa adecuada que no se endurezca con el paso del tiempo (se deben seguir las recomendaciones del fabricante, y en particular la grasa de siliconas está prohibida).
- ✓ Las envolventes antideflagrantes Ex “d” deben instalarse de modo tal que sus juntas presenten una distancia mínima libre de obstáculos, que para cada subgrupo de gases se especifica en 10mm para IIA, 30mm para IIB y 40mm para IIC.
- ✓ La placa característica de los equipos Ex no debe ser alterada, y deberá estar siempre en posición visible.
- ✓ El ajuste y sellado de los prensacables se debe lograr sin alterar ninguno de sus componentes (retiro, agregado y/o cambio de junta de sello, etc.), ni alterar los diámetros externos e internos de los cables por ningún método.
- ✓ Todas las entradas a envolventes Ex no utilizadas, deben ser debidamente obstruidas mediante tapones certificados.
- ✓ Los prensacables, al igual que los tapones, o adaptadores de rosca, deberán ser certificados para el mismo modo de protección Ex del de la envolvente en que se instalan.
- ✓ Las luminarias Ex deben instalarse mediante la aplicación de los accesorios y sistemas de montaje provistos por el fabricante (no se permite, en ningún caso, que penden directamente de su cable de alimentación), y la lámpara a utilizar deberá ser exclusivamente la explicitada en el certificado de conformidad.

Adicionalmente se deben tener en consideración los siguientes aspectos.

- ✓ **Protección contra electricidad estática:** la acumulación de cargas en partes metálicas aisladas, típicas de procesos de fricción (corrientes de aire c/ partículas en suspensión, transporte de sustancias no conductoras por conductos, etc.), puede resultar peligrosa al generar diferencias de potencial entre distintas masas, lo que a su vez puede resultar en descargas capaces de inflamar una mezcla circundante. Las medidas de seguridad se basan en derivar a tierra las cargas producidas, para lo cual se considera que resistencias de fuga a tierra del orden de 1 MΩ, son suficientes para prevenir acumulaciones electrostáticas peligrosas.
- ✓ **Protección contra descargas atmosféricas:** las corrientes de derivación a tierra que resultan de las descargas atmosféricas, provocan la elevación del potencial a tierra de las diferentes estructuras metálicas. La equipotencialidad total de las instalaciones es la medida de seguridad recomendada, por cuanto aún cuando el potencial se eleve en caso de descarga, lo harán en todas las masas en la misma magnitud, minimizando las diferencias de tensión que son las causantes de las descargas peligrosas entre masas.
- ✓ **Protecciones de sobreintensidad:** es requisito normativo proveer dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuito. Para Zona 0 y 1, el rearme de toda protección tras a un disparo deberá ser manual, mientras que en relación a los relés térmicos de protección de motores, y con independencia de la clasificación del área de que se trate, los mismos deberán ser diferenciales para evitar la marcha en 2 fases (causa de sobrecalentamiento por el fuerte crecimiento de la frecuencia rotórica). Las directivas europeas (ATEX 100 – Directiva 94/9/CE) establece que estas protecciones deben ser certificadas Ex, aún cuando se las instale en área segura, por cuanto son condicionantes de la seguridad de los equipos instalados en área clasificada.
- ✓ **Riesgos derivados de la Protección catódica:** en los sistemas de protección catódica existe un circuito activo, que si cambia su configuración (desconexión o rotura de un cable, desmontajes de equipos de proceso, cortocircuito de estructuras aisladas, etc.) puede provocar chispas con poder inflamable (obviamente es más peligrosa la protección catódica por

corriente impresa que la por ánodos de sacrificio). En Zona 0 se debe prescindir de la protección catódica.

- ✓ **Sistemas de puesta a tierra:** entre los sistemas normalizados para redes eléctricas de baja tensión, el esquema TN-C está expresamente prohibido para emplazamientos gaseosos peligrosos. Esto se explica porque para tal esquema, la carga del neutro hace activas las masas (estructuras desnudas), pudiendo dar origen a diferencias de potencial, y a partir de allí chispas peligrosas.
- ✓ **Canalizaciones:** Los modos de protección no son de aplicación a los cables eléctricos aislados, que son precisamente los elementos más débiles de la instalación. Esta limitación la suplimos de acuerdo a la norma mediante:
 - **Protección mecánica:** los cables se deberán instalar bajo tubo, o se utilizarán cables armados, y se los protegerá adicionalmente cuando estén expuestos a impacto, rayos UV, calor excesivo, etc. Esta protección no es requerida para el caso de cables de circuitos de seguridad intrínseca.
 - **Declarificación de los cables:** se los sobredimensiona un 15% respecto de la intensidad nominal, con el propósito de aumentar la vida útil de la aislación (capacidad = $0,85 \times I_n$, 72% de reducción del calentamiento). Las protecciones de sobreintensidad deben ajustarse tomando en consideración esta declarificación.

Por otra parte no se permiten las canalizaciones de conductores activos desnudos.

Asimismo:

- Para minimizar el riesgo de propagación de fuego, las cubiertas externas serán no propagadoras de llama.
- Los cables deben ser resistentes a los agentes ambientales, como pueden ser ciertos hidrocarburos que afectan a los materiales aislantes, u otros agentes que pueden corroer y destruir las armaduras, etc.
- El punto de transición de una canalización eléctrica de una zona a otra, o de un emplazamiento peligroso a otro seguro, deberá estar sellado de modo de no permitir el paso de vapores o líquidos inflamables.
- Cuando se disponga de canalizaciones bajo tubo, se deberá verificar que no se presentarán vibraciones capaces de aflojar y/o romper las uniones roscadas. Los tubos serán de acero sin costura, galvanizados exterior e interiormente, y deberán soportar una presión interna de 3 Mpa. La sección que ocuparán los cables no superará el 40% de la del tubo.

En relación a las **canalizaciones bajo tubo**, es oportuno mencionar que la norma, particularmente en la Parte 14 que estamos mencionando en este punto, indica expresamente mediante una nota que se repite desde hace varias emisiones, que el sistema está siendo estudiado actualmente. Asimismo le dedica un tratamiento muy limitado.

Entradas de cables: Un detalle particularmente importante en las instalaciones en atmósferas peligrosas, lo encontramos en las entradas de cables o acometidas a las envolventes, las que en el caso de las instalaciones con cable armado, se realizan mediante prensacables.

Los mismos serán seleccionados atendiendo a los siguientes aspectos, para los que se ha previsto que el cable será armado:

- ✓ El Modo de Protección deberá ser el mismo que el de la envolvente del equipo al que acomete.
- ✓ Para cable armado.
- ✓ Tipo y tamaño de rosca según la disponible en el equipo a acometer (en caso de incompatibilidad de tipo y/o tamaño de rosca, se podrá instalar un adaptador certificado).
- ✓ De doble compresión. Verificar que el diámetro externo asociado al sello de estanquidad, y el bajo armadura del cable, en el que trabaja la junta Ex, estén dentro de la tolerancia del prensacable. Es importante tener presente que con frecuencia, para una misma rosca, que muchas veces asociamos erróneamente con el tamaño del prensacable, existen justamente más de un tamaño diferente. Así tenemos fabricantes que, por ejemplo para la rosca M20, presentan tamaños Os, O y A.

Con relación a la instalación del prensacable, es altamente recomendable respetar instrucciones del fabricante como las que se indican a continuación.

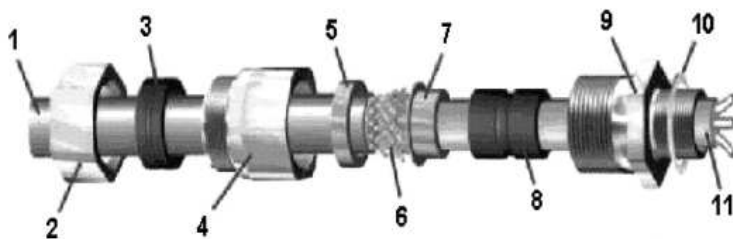


Fig. 8

1. Se enrosca la “entre rosca” (9) al equipo, asegurándose que al menos 5 hilos de rosca han entrado en contacto (con o sin la arandela 10, según corresponda).
2. Se pasan por el cable la “tuerca de sello externo” (2), la correspondiente “junta de sellado de estanqueidad” (3), el “cuerpo central” (4) y el “anillo de ajuste de la armadura” (5), que constituye la pieza que asegura la continuidad eléctrica de la armadura.
3. Se elimina la “cubierta exterior del cable” (1), cuidando de respetar el largo máximo expuesto de la “armadura” (6) que recomienda el fabricante.
4. Se coloca el “cono de ajuste de la armadura” (7) sobre el diámetro bajo armadura del cable.
5. Se pasa el cable por la pieza (9) ya roscada en el 1er paso, y se ajustan la pieza (4) sobre la (9).
6. Se desenrosca el conjunto, para poder comprobar la sujeción de la armadura entre el “anillo” y el “cono”.
7. Colocamos finalmente la “junta de sellado Ex interna” (8), pasamos nuevamente el cable por la pieza (9), ajustamos las piezas (4) y (9), y luego la tuerca (2) al cuerpo (4).

Adicionalmente se considera de interés mencionar que la norma de instalaciones especifica la obligatoriedad de aplicar **“Prensacables con compuesto sellador”** si se está frente a alguna de las siguientes circunstancias:

- ✓ En envoltentes que contienen fuentes de ignición y deben aplicarse en áreas peligrosas por presencia de gases del subgrupo IIC.
- ✓ En envoltentes que contienen fuentes de ignición, a instalar en Zona 1 y que tienen un volumen de al menos 2 dm³.

En estos prensacables el sellado Ex sobre las venas del conductor se logra por aplicación de un compuesto sellador aprobado y suministrado con el prensa-cable, en un modo similar al sellado que se realiza en las instalaciones “Bajo tubo”. El sellado de estanqueidad sobre el diámetro exterior del cable, se logra del mismo modo que en los prensacables de doble compresión.

Motores operados mediante convertidores de frecuencia: Como es sabido, los convertidores de frecuencia generan armónicas de tensión y de corriente que entre otras consideraciones, afectan el calentamiento de los equipos y aparatos eléctricos. Por otra parte, la norma IRAM-IEC 60079 en sus lineamientos generales (Parte 0 – “Requerimientos Generales”) establece que para la aprobación de los diversos equipos, se los considera operando en una red eléctrica sinusoidal. Por esta razón, un motor eléctrico que dispone de un modo de protección Ex acorde a la atmósfera gaseosa peligrosa en que debe operar, queda inhabilitado si es alimentado mediante un convertidor de frecuencia, por cuanto su condición de funcionamiento se aparta de aquella para la que fue aprobado y certificado. En esos casos, la Parte 14 de la norma requiere de una certificación conjunta del motor – convertidor, de tal modo que experimentalmente se determine las nuevas condiciones de temperatura, que para el caso de los motores autoventilados, debe incluir la verificación del comportamiento térmico en el rango de las bajas velocidades.

Legislación:

La Argentina como parte integrante de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI / IEC) ha adoptado las normas CEI / IEC. Asimismo el IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) ha emitido las normas IRAM-IEC 60079 “Materiales eléctricos para atmósferas

gaseosas explosivas”, basadas en el grupo de normas IEC 60079 “Electrical Apparatus for explosive gas atmospheres”.

La ley de “Higiene y seguridad en el trabajo” establece que se deberán respetar las recomendaciones de la AEA (Asociación Electrotecnia Argentina) en relación a las instalaciones en áreas con riesgo de explosión, y precisamente esta asociación exige en su “Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles”, el cumplimiento de las normas IRAM-IEC. Por otra parte, la AEA está actualmente revisando la citada reglamentación en relación a las instalaciones en “Locales con Ambientes Explosivos o Inflamables”, y lo está haciendo en base a la norma IEC 60079 Parte14. A su vez, y en relación a las condiciones de seguridad de los materiales eléctricos, la Resolución 92/1998 establece que todos los materiales, equipos y aparatos eléctricos estarán contruidos de acuerdo a normas IRAM o IEC.

La ley establece también, que los fabricantes del material eléctrico para uso en ambientes especiales, suministrarán al usuario copia de los Certificados de Aprobación. Esto lleva implícita la necesidad de realizar una Clasificación de Áreas, a los efectos de poder evaluar racionalmente, la validez del certificado. Por otra parte se indica taxativamente que "es responsabilidad del usuario, la selección del material adecuado para cada tipo de ambiente, teniendo en cuenta el riesgo".

Conclusiones:

Lo descripto precedentemente permite concluir que, en instalaciones donde se procesan y almacenan sustancias inflamables, la adquisición de equipos contruidos según los Modos de Protección y su instalación de acuerdo a norma, así como la Clasificación de Áreas respetando los procedimientos establecidos en las normas vigentes, constituyen la metodología adecuada para prevenir los riesgos de explosión.

Así mismo, el conocimiento de las áreas de riesgo en cuanto a su peligrosidad y extensión, permitirá invertir donde corresponde y en la medida adecuada.

Por otra parte, siguiendo esta metodología se obtendrá una documentación técnica con sólidos fundamentos normativos (Clasificación de Áreas, Certificados, procedimientos de intervención y mantenimiento, etc.), que posibilitará reducir la prima de los seguros u obtener una mejor calificación de la ART, y finalmente, permitirá demostrar un accionar profesional y empresario responsable.

Bibliografía:

- ✓ Normas IRAM-IEC 60079.
- ✓ Normas IEC 60079, BS 5345 parte 1 a 9 y UNE 20322.
- ✓ 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.
- ✓ NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations.
- ✓ Seminario Internacional de material Ex, SIMEx'96 organizado por CITEI/INTI y la Unión Europea.
- ✓ Prácticas recomendadas del IAP.
- ✓ Normas y Prácticas recomendadas de TOTAL.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)