



ÁREA CLASIFICADA Y ATMÓSFERA EXPLOSIVA





Contenido

Áreas clasificadas	5
Atmósfera explosiva	5
Características de las sustancias inflamables	6
Coeficiente de evaporación	6
Densidad relativa del gas o vapor	6
Punto de inflamabilidad	7
Punto de ignición, combustión o ignición	7
Energía de ignición, combustión o ignición	7
Límite inferior de inflamabilidad	7
Límite superior de inflamabilidad	7
Temperatura de ignición	8
Temperatura máxima de la superficie	8
Fuentes de riesgo	8
Tipo de zona	9
Ampliación de zonas	10
Tasas de liberación de gas o vapor	10
Otros parámetros a tener en cuenta	12
Grado de riesgo	13
Protección primaria	13
Ventilación en áreas peligrosas	14
Ventilación natural	14
Ventilación artificial	15
Grados de ventilación	16
Alta ventilación (VA)	17
Ventilación media (VM)	17
Baja ventilación (VB)	17
Evaluación del grado de ventilación	17
Estimación hipotética del volumen (Vz)	18
Tiempo de persistencia	21
Estimación del grado de ventilación	22
Alta ventilación (VA)	22
Baja ventilación (VB)	22



Ventilación media (VM)	22
Disponibilidad de ventilación	23
Ejemplos de cálculo	25
Ejemplo 1	25
Ejemplo 2	26
Ejemplo 3	27
Ejemplo 4	28
Ejemplo 5	29
Ejemplo 6	30
Norma Reguladora 10 (NR10).....	31
Clasificación de áreas	32
Clasificación de productos inflamables.....	32
Clasificación de los entornos.....	34
Zona 0.....	35
Zona 1.....	35
Zona 2.....	36
Figuras de clasificación.....	36
Áreas no clasificadas	38
Clasificación de Ambientes con Polvo Inflamable.....	39
Zona 20.....	39
Zona 21.....	39
Zona 22.....	39
Equipos eléctricos	40
Grado de protección.....	40
Característica Primer dígito	41
Característica Segundo dígito	42
Letra Adicional	43
Letra Suplementar.....	43
Equipos eléctricos para atmósferas explosivas	44
Tipos de protección.....	44
A prueba de explosiones – Ex d.....	44
Principales aplicaciones	45
Aumento de la seguridad – Ex e	46
Principales aplicaciones	46
Equipos sumergidos en aceite – Ex o	47
Principales aplicaciones	47
Equipos presurizados – Ex p.....	47



Principales aplicaciones	47
Equipo de inmersión en arena – Ex q.....	48
Principales aplicaciones	48
Equipo encapsulado en resina – Ex m	48
Principales aplicaciones	48
Equipos no inflamables – Ex n	48
Principales aplicaciones	49
Equipos de Protección Especial – Ex s	49
Equipo de seguridad intrínseca – Ex i	49
Principales aplicaciones	50
Energía de ignición	50
Limitador de Corriente.....	52
Limitador de voltaje	53
Almacenamientos de energía.....	53
Circuitos a prueba de fallos	54
Resumen.....	55
Marcado en equipos Ex.....	55
Mantenimiento e inspección en áreas peligrosas	56
Ejemplos de inspección y mantenimiento.....	56
Inspección en Instalaciones Ex i	56
Motores Trifásicos.....	58
Referencias.....	60

Áreas clasificadas

Las áreas clasificadas son espacios o regiones tridimensionales en los que la probabilidad de la presencia de una atmósfera explosiva requiere que se tomen precauciones especiales para la construcción, instalación y uso de equipos eléctricos, como se muestra en la figura 1 a continuación:



Figura 1 - Simbología de áreas clasificadas. a) Simbología por área; b) Simbología de los equipos.

Atmósfera explosiva

La atmósfera explosiva es la mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor, polvo o fibra, en la que, tras la ignición, se produce la explosión.

El triángulo de fuego indica los tres elementos que deben existir para generar una explosión y basta con eliminar uno de los elementos para que el área sea segura, como se muestra en la figura 2 a continuación

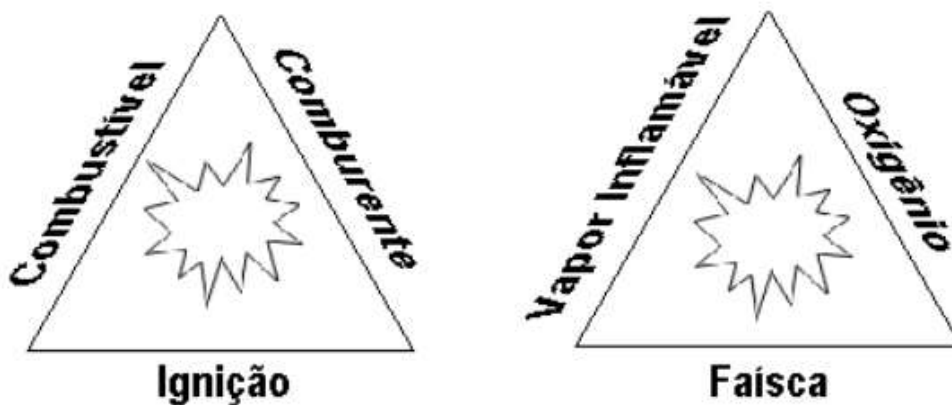


Figura 2 - Triângulo de fogo.



En las plantas petroquímicas y centrales eléctricas, se pueden considerar los siguientes:

Combustible → Hidrocarburo

Combustión → Oxígeno

Ignición → Equipos eléctricos/electrónicos (fuente de chispa o alta temperatura)

Características de las sustancias inflamables

Las atmósferas explosivas se forman en entornos donde hay gas, vapor, polvo o fibra inflamable. Si la sustancia inflamable se encuentra en estado líquido, es necesario que cambie al estado gaseoso para formar una atmósfera explosiva. Este cambio de estados, de líquido a gas, se denomina evaporación.

Coeficiente de evaporación

Indica el tiempo que tarda un líquido en evaporarse por completo sin dejar residuos.

Los valores de estos coeficientes se dan en relación con el éter (coeficiente de evaporación = 1).

Este valor varía según la temperatura y la presión del vapor.

Densidad relativa del gas o vapor

La densidad de un gas o vapor con respecto a la densidad del aire, en las mismas condiciones de presión y temperatura, considerando la densidad del aire igual a 1,0.

La mayoría de los gases inflamables son más densos que el aire y, por lo tanto, ocupan grandes espacios cerca del suelo cuando se encuentran en lugares con ventilación inadecuada.

Excepción de gases menos densos que el aire: Hidrógeno, Metano, Amoníaco, Acetileno y Etileno.



Punto de inflamabilidad

Es la temperatura más baja de un líquido a la que libera suficiente vapor para formar una mezcla inflamable.

A esta temperatura, la cantidad de vapor no es capaz de mantener la combustión. Solo hay un destello rápido.

El punto de inflamación de un líquido se puede cambiar agregando otros materiales. La mezcla de líquidos no inflamables está destinada a aumentar el punto de inflamación de una sustancia inflamable.

Punto de ignición, combustión o ignición

Es la temperatura más baja de un líquido a la que libera vapor en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable capaz de arder continuamente sobre el líquido cuando se enciende por una fuente externa.

Energía de ignición, combustión o ignición

Es la energía mínima que debe ser suministrada por una llama, chispa eléctrica o fuente de calor a una mezcla de combustible para que ésta inicie la combustión.

Límite inferior de inflamabilidad

Es la concentración mínima a la que la mezcla se vuelve inflamable, es decir, por debajo de esta concentración no se forma una atmósfera gaseosa explosiva.

Por debajo de este punto, la mezcla de aire y gas o vapor inflamable se denomina mezcla pobre.

Límite superior de inflamabilidad

Es la concentración máxima a la que la mezcla se vuelve inflamable, es decir, el porcentaje de aire en la mezcla por encima de este punto es tan bajo que no se vuelve inflamable.

Por encima de este punto, la mezcla de aire y gas o vapor inflamable se denomina mezcla rica.



Temperatura de ignición

La temperatura más baja de una superficie calentada en la que, bajo condiciones especificadas, una sustancia inflamable se encenderá en forma de una mezcla de gas o vapor con aire.

Temperatura máxima de la superficie

La temperatura más alta alcanzada en servicio por cualquier parte o superficie de dicho equipo, incluso en las condiciones de funcionamiento más duras, dentro de los límites de las características nominales del equipo eléctrico.

Se entiende por condiciones de funcionamiento más adversas la sobrecarga o los fallos previstos en la norma específica para el tipo de protección de que se trate.

Fuentes de riesgo

Los elementos básicos para definir las áreas clasificadas consisten en identificar las fuentes de riesgo y determinar el grado de estas fuentes.

Teniendo en cuenta que una atmósfera explosiva de gases inflamables solo puede existir si hay un gas o vapor en el aire, es necesario evaluar si alguno de estos materiales inflamables puede existir en el área considerada.

En general, dichos gases y vapores (así como los líquidos y sólidos inflamables que pueden originarlos) están contenidos en equipos de proceso que pueden o no estar completamente cerrados. Es necesario identificar cuándo puede haber una atmósfera explosiva de gases inflamables dentro de una planta de proceso, o cuándo la liberación de materiales inflamables puede crear una atmósfera explosiva de gases inflamables fuera de la planta de proceso.

Cada tipo de equipo de proceso (por ejemplo, tanques, bombas, tuberías, recipientes, etc.) debe considerarse una fuente potencial de riesgo de liberación de gases inflamables. Si no se prevé que el equipo contenga material inflamable, es evidente que no creará un área peligrosa a su alrededor.

Lo mismo se aplica si el equipo contiene material inflamable pero no es capaz de liberar este material a la atmósfera (por ejemplo, una tubería completamente soldada no se considera una fuente de riesgo).

Si se establece que el equipo puede liberar material inflamable a la atmósfera, primero es necesario

determinar el grado de riesgo de liberación de acuerdo con las definiciones, estableciendo la frecuencia de ocurrencia y la duración de la liberación. Hay que tener en cuenta que la apertura de piezas de sistemas de proceso cerrados (por ejemplo, durante la sustitución de filtros o el llenado en procesos por lotes) también debe tenerse en cuenta como una fuente de riesgo a la hora de elaborar la clasificación de las zonas.

A través de este procedimiento, cada fuente de riesgo debe clasificarse como grado "continuo", "primario" o "secundario".

Una vez que se ha establecido el grado de la fuente de riesgo, es necesario determinar la tasa de liberación y otros factores que pueden influir en el tipo y la extensión de la zona.

Si la cantidad total de material inflamable que puede liberarse es "pequeña", por ejemplo, en el caso de un laboratorio, aunque pueda existir un riesgo potencial, puede que no sea apropiado utilizar este procedimiento de clasificación de zonas. En tales casos, las consideraciones deben tener en cuenta las particularidades de los riesgos involucrados.

La clasificación de las áreas de los equipos de proceso en las que se quema material inflamable, como quemadores, hornos, calderas, turbinas de gas, etc., debe tenerse en cuenta sus etapas del ciclo de purga y las condiciones de puesta en marcha y parada.

Las neblinas que pueden formarse debido a fugas de líquido pueden ser inflamables incluso si la temperatura del líquido está por debajo del punto de inflamación. Por lo tanto, es importante asegurarse de que no se formen nubes de niebla.

Si bien las neblinas se identifican como una forma de riesgo, los criterios de evaluación utilizados en esta Norma para gases y vapores pueden no ser aplicables a las neblinas.

Cabe señalar que, si bien las neblinas se identifican como una forma de riesgo, los criterios de evaluación utilizados en esta Norma para gases y vapores pueden no ser aplicables a las neblinas.

Tipo de zona

La probabilidad de presencia de una atmósfera explosiva de gases inflamables depende principalmente del grado de la fuente de riesgo y de la ventilación. Esto se identifica como una zona.

Las zonas se clasifican en: zona 0, zona 1, zona 2 y áreas no clasificadas.

Debemos tener en cuenta que una fuente de riesgo de grado continuo generalmente conduce a una zona 0, una fuente de riesgo de grado primario a una zona 1 y una fuente de riesgo de grado secundario a una zona 2, y

También observamos que cuando las zonas son creadas por fuentes de riesgo adyacentes que se superponen y son de diferentes clasificaciones, la clasificación de riesgo más alta debe prevalecer en el área superpuesta. En los sitios que se interceptan en zonas de la misma clasificación,



normalmente debe adoptarse esta clasificación común.

Ampliación de zonas

La extensión de las zonas depende de la distancia estimada o calculada a la que exista una atmósfera explosiva de gases inflamables antes de que pueda dispersarse en el aire a una concentración inferior a su límite inferior de explosividad, con un factor de seguridad adecuado. Para la evaluación de la extensión del área del gas o vapor hasta el punto en que la dilución alcanza un valor por debajo de su límite inferior de explosividad, se recomienda consultar a un especialista. Siempre se deben tener en cuenta la posibilidad de que un gas que es más pesado que el aire pueda fluir hacia un área por debajo del nivel del suelo (por ejemplo, en pozos o depresiones) y que un gas que es más ligero que el aire pueda acumularse a un nivel más alto (por ejemplo, en el espacio bajo un techo).

Cuando la fuente del peligro esté situada fuera de la zona considerada o en una zona adyacente, podrá evitarse la penetración de una cantidad significativa de gas o vapor inflamable en esta zona por medios adecuados, tales como:

- a) barreras físicas;
- b) mantenimiento de una sobrepresión adecuada en la zona en relación con la zona clasificada adyacente, evitando así la entrada de la atmósfera explosiva de gas;
- c) purgar el área con suficiente flujo de aire, asegurando así que el aire pueda circular a través de todas las aberturas a través de las cuales puedan penetrar gases o vapores inflamables.

La extensión de la zona se ve afectada principalmente por los siguientes parámetros químicos y físicos, algunos de los cuales son propiedades intrínsecas del material inflamable; otros son específicos del proceso. Para simplificar, el efecto de cada parámetro indicado a continuación supone que los demás parámetros permanecen sin cambios.

Tasas de liberación de gas o vapor

Cuanto mayor sea la tasa de liberación del material inflamable, mayor será la extensión del área clasificada. La velocidad de liberación depende de los siguientes parámetros:

a) **Geometría de la fuente del riesgo**

Esto está relacionado con las características físicas de la fuente de riesgo, por ejemplo, una superficie abierta, fugas en la brida, etc.

b) **Velocidad de liberación**

Para una fuente de riesgo dada, la tasa de liberación aumenta con la velocidad de liberación. En el caso de un producto contenido dentro de un equipo de proceso, la velocidad de liberación está relacionada con la presión del proceso y la geometría de la fuente de riesgo. El tamaño de una nube de gas o vapor inflamable está determinado por la tasa de liberación de vapor inflamable y la tasa de dispersión. El gas o vapor que fluye de una fuga a alta velocidad desarrollará un chorro en forma de cono que se mezcla con el aire y se auto diluye. La extensión de la atmósfera explosiva de gas es casi siempre independiente de la velocidad del viento. Si el material se libera a baja velocidad o si su velocidad se reduce por colisión con un objeto sólido, el material inflamable es transportado por el viento y su dilución y extensión dependerán de esta velocidad del viento.

c) **Concentración**

La tasa de liberación aumenta con la concentración de gas o vapor inflamable en la mezcla liberada.

d) **Volatilidad de un líquido inflamable**

La volatilidad está relacionada principalmente con la presión de vapor y la entalpía ("calor") de la vaporización. Si no se conoce la presión de vapor, se pueden utilizar como referencia el punto de ebullición y el punto de inflamación.

No hay atmósfera de gas explosiva si el punto de inflamación es más alto que la temperatura aplicable del líquido inflamable. Cuanto más bajo sea el punto de inflamación, mayor será la extensión de la zona. Sin embargo, si un material inflamable se libera de tal manera que forma una niebla (por ejemplo, mediante pulverización), se puede formar una atmósfera explosiva de gas por debajo del punto de inflamación del material.

También observamos que los valores del punto de inflamación de los líquidos inflamables no son valores físicos precisos, en particular en el caso de que pueda haber mezclas y que algunos líquidos (por ejemplo, ciertos hidrocarburos halogenados) no tienen un valor de punto de inflamación, aunque son capaces de producir una atmósfera gaseosa explosiva. En estos casos en los que la temperatura de equilibrio del líquido, que corresponde a la concentración de saturación en su límite inferior de explosividad, debe compararse con la temperatura máxima del líquido existente.

e) **Temperatura del líquido**

También observamos que la presión de vapor aumenta con la temperatura, lo que provoca un aumento en la tasa de liberación debido a la evaporación, y que la temperatura del líquido, después de haber sido liberado, puede aumentarse, por ejemplo, por proximidad a una superficie caliente o por alta temperatura ambiente.

Otros parámetros a tener en cuenta

a) Condiciones climáticas

La tasa de dispersión de gas o vapor en la atmósfera aumenta con la velocidad del viento, pero se requiere una velocidad mínima de 2 m/s a 3 m/s para iniciar la difusión turbulenta; Por debajo de esto, se produce la acumulación de gas o vapor y la distancia para una dispersión segura aumenta considerablemente. En áreas de proceso obstruidas por la presencia de grandes recipientes y estructuras, la velocidad del movimiento del aire puede ser sustancialmente menor que la velocidad del viento; A pesar de esto, la obstrucción del movimiento del aire por parte del equipo tiende a mantener la turbulencia incluso a bajas velocidades del viento.

Observamos que para una velocidad del viento de 0,5 m/s se considera apropiado determinar la velocidad a la que la ventilación en un ambiente exterior diluye una liberación inflamable. Este valor más bajo de la velocidad del viento es apropiado para este propósito, con el fin de mantener un enfoque conservador, aunque se reconoce que la tendencia a la acumulación en capas puede comprometer el cálculo.

También observamos que, en casos prácticos, la tendencia a la acumulación en capas no se tiene en cuenta en la clasificación de las áreas, debido a que las condiciones que favorecen el aumento de esta tendencia son raras y ocurren solo durante períodos cortos. Sin embargo, si se esperan períodos prolongados de baja velocidad del viento para el caso específico, entonces es necesario que la extensión de la zona requiera una distancia adicional para que ocurra la dispersión.

b) Topografía

Algunos líquidos son menos densos que el agua y no son fácilmente miscibles con el agua: tales líquidos pueden esparcirse en la superficie del agua (si está por encima del nivel del suelo, en los sistemas de drenaje de las plantas o en las zanjas de las tuberías) y luego pueden causar la ignición en un punto alejado del derrame original. poniendo en riesgo una gran área de la instalación.

La disposición de las instalaciones de la planta, cuando sea posible, debe diseñarse para facilitar la rápida dispersión de la atmósfera de gas explosiva. Un área con ventilación restringida (por ejemplo, zanjas o zanjas) que de otro modo podría ser un área de zona 2, puede requerir la clasificación como

zona 1; Por otro lado, las grandes depresiones utilizadas en sistemas de bombeo o galerías de tuberías pueden no requerir tanto rigor en su tratamiento.

Grado de riesgo

Para evaluar el grado de riesgo al que está sometida una instalación, es necesario:

- ✓ Identificar el tipo de sustancia inflamable que puede estar presente: clasificar por grupo, clase de temperatura;
- ✓ Identificar las fuentes que generan riesgo, es decir, las partes del proceso donde existe la posibilidad de liberar material inflamable al medio externo, tales como: bridas, válvulas, accesorios de tuberías, etc.
- ✓ Condiciones ambientales: temperatura, altitud, ventilación, etc.
- ✓ Calcular la concentración en el medio ambiente, tasa de emisión, etc.

Protección primaria

La protección primaria consiste en eliminar la atmósfera explosiva de gas alrededor de las fuentes de ignición (equipos eléctricos/electrónicos/de automatización) o eliminar la fuente de ignición.

Los principales métodos para prevenir la formación de atmósferas explosivas son:

- ✓ **Eliminación de sustancias inflamables**: si la sustancia inflamable utilizada en el proceso puede ser reemplazada por una no inflamable, se debe preferir la sustancia no inflamable.
- ✓ **Limitación de la concentración**: mantener la concentración de la atmósfera explosiva siempre por debajo del límite inferior de inflamabilidad o por encima del límite superior de inflamabilidad. Para mayor seguridad. En el caso de los gases y vapores, la concentración debe estar por debajo del límite inferior de inflamabilidad y en el caso de los polvos inflamables, que son difíciles de reducir en el medio ambiente, es más práctico dejar la concentración en la atmósfera por encima del límite superior de inflamabilidad.
- ✓ **Aumento del punto de inflamación**: aumente el punto de inflamación de las sustancias explosivas por encima de la temperatura ambiente y de trabajo.
- ✓ **Inertización**: limitar la concentración de aire en el ambiente. Se puede hacer con la adición de gases inertes como nitrógeno o vapor de agua.

- ✓ **Ventilación**: cuando la ventilación no es natural (al aire libre o en lugares sin obstáculos) se puede evitar la formación de una atmósfera explosiva mediante el uso de ventilación artificial (rejillas de ventilación, conductos, ventiladores, difusores).

Cuando no es posible evitar la formación de la atmósfera explosiva alrededor de la fuente de ignición, se hace necesario eliminar las propias fuentes de ignición. Para ello, se deben utilizar equipos y procedimientos especiales, que se presentarán más adelante.

Ventilación en áreas peligrosas

El gas o vapor liberado a la atmósfera puede diluirse por dispersión o difusión en el aire hasta que su concentración esté por debajo del límite inferior de explosividad. La difusión se produce debido a la diferencia de concentraciones entre los gases en la atmósfera y se rige por las leyes de la transferencia de masa. La ventilación se encargará de la dispersión, aumentando la velocidad de dilución del gas inflamable en la atmósfera. Las tasas de ventilación adecuadas también pueden prevenir la persistencia de una atmósfera explosiva de gas y, por lo tanto, influir en el tipo de zona (ABNT).

La ventilación puede lograrse mediante el movimiento del aire debido al viento y/o los gradientes de temperatura o por medios artificiales como ventiladores. Por lo tanto, se reconocen dos formas principales de ventilación: la ventilación natural y la ventilación artificial, esta última puede ser general o local (ABNT).

Ventilación natural

Se trata de un tipo de ventilación que se consigue mediante el movimiento del aire provocado por el viento y/o los gradientes de temperatura. En ambientes exteriores, la ventilación natural, la mayoría de las veces, es suficiente para asegurar la dispersión de una eventual atmósfera explosiva de gas que pueda surgir en la zona. En ambientes abiertos, la velocidad del aire suele ser superior a 2 m/s y rara vez inferior a 0,5 m/s.

La ventilación natural también puede ser efectiva en algunos casos de ambientes interiores.

En los edificios situados sobre el suelo sin ninguna abertura especial para la entrada y salida de aire, hay al menos un intercambio de aire por hora, es decir, el aire en estos ambientes se cambia una vez cada hora influenciada únicamente por las corrientes de convección. Para ambientes de tipo sótano (subterráneos), solo se esperan 0,4 intercambios de aire por hora en estos lugares, ya que hay menos convección. Si se instalan aberturas para la entrada y salida de aire, estos valores se pueden

aumentar hasta aproximadamente el doble. Si se produce menos de un intercambio de aire por hora, la habitación se considera sin ventilación.

Algunos ejemplos de ventilación natural son:

- Situaciones de ambientes externos, típicas de las industrias químicas y petroleras, como, por ejemplo, estructuras abiertas, soportes de tuberías, patios de bombas y similares;
- Un edificio abierto, considerando la densidad relativa de los gases y/o vapores involucrados, que tiene aberturas en las paredes y/o techo, de tal manera que la ventilación en el interior del edificio, a efectos de clasificar las áreas, puede considerarse como equivalente a la situación de los ambientes externos;
- Un edificio que no es abierto, pero que tiene ventilación natural (generalmente más pequeña que un edificio abierto), provisto de aberturas permanentes, construido con el propósito de ventilación.

Ventilación artificial

En comparación con la ventilación natural, la ventilación artificial permite emplear grandes cantidades de aire y, con mayor objetividad, favorecer la circulación del aire. Sin embargo, es importante asegurarse de que los dispositivos responsables de la ventilación artificial, como ventiladores, conductos, difusores y aberturas, no queden inoperativos. La pérdida de ventilación debe evitarse a toda costa, especialmente mientras persista el riesgo de formación de una atmósfera inflamable (JORDÃO, 2002).

La ventilación artificial se aplica principalmente en interiores, sin embargo, también se puede aplicar en exteriores, con el fin de compensar la ventilación natural restringida o impedida, causada por la presencia de obstáculos (ABNT).

La ventilación artificial de una zona puede ser de tipo general o local y, para ambos casos, pueden ser adecuados diferentes grados de movimiento y renovación del aire.

Según la ABNT, con el uso de la ventilación artificial es posible obtener:

- Reducción del tipo y/o extensión de las zonas;
- Disminución del tiempo de persistencia de una atmósfera explosiva de gas;
- Prevención de la formación de una atmósfera de gas explosiva. De nuevo según la ABNT, teniendo en cuenta las consideraciones de diseño, un sistema de ventilación artificial para la protección contra explosiones debe cumplir los siguientes requisitos:
- Su eficacia debe ser controlada y supervisada;



- Se debe considerar la clasificación de las áreas dentro del sistema de escape, inmediatamente en el exterior de su punto de descarga y otras aberturas de este sistema de escape;
- Para la ventilación de un área peligrosa, el aire normalmente debe extraerse de un área no peligrosa; Como se ha mencionado, hay que tener en cuenta la influencia de los siguientes factores en la calidad de un sistema de ventilación artificial:
- Los gases y vapores inflamables suelen tener densidades diferentes a la densidad del aire, por lo que tienden a acumularse cerca del techo o del suelo en una zona cerrada, donde el movimiento del aire suele ser reducido
- La densidad del gas cambia con la temperatura;
- Las barreras y obstáculos pueden provocar la reducción o incluso impedir el movimiento del aire, es decir, pueden provocar la falta de ventilación en determinadas partes de la zona;
- Patrones de turbulencia y circulación de aire. La ABNT también presenta como ejemplos de ventilación artificial general:
- Un edificio equipado con ventiladores en las paredes y/o techo, con el objetivo de mejorar la ventilación general del edificio;
- Una situación de ambiente abierto, provisto de ventiladores debidamente ubicados, con el objetivo de mejorar la ventilación general de la zona.
- Los mismos citados presentan como ejemplos de ventilación artificial localizada:
- Un sistema de escape de aire/vapor aplicado a equipos de proceso que libera vapor inflamable de manera continua o periódica;
- Un sistema de ventilación o escape forzado aplicado a un área específica, pequeña y ventilada localmente donde se anticipa que puede ocurrir una atmósfera de gas explosiva en ausencia de este sistema de ventilación.

Grados de ventilación

La eficacia de la ventilación para controlar la dispersión y la persistencia de la atmósfera de gas explosiva depende del grado y la disponibilidad de la ventilación y del diseño del sistema.

Por ejemplo, la ventilación puede no ser suficiente para evitar la formación de una atmósfera gas explosiva, pero puede ser suficiente para prevenir su persistencia (ABNT).

Según la ABNT, se reconocen los siguientes tres grados de ventilación:



Alta ventilación (VA)

Puede reducir la concentración en el lugar de la fuente de riesgo de forma prácticamente instantánea, lo que da lugar a una concentración inferior al límite inferior de explosividad. El resultado es una extensión de zona insignificante. Sin embargo, cuando la disponibilidad de ventilación no es buena, puede ocurrir otro tipo de zona alrededor de la extensión de zona insignificante (ABNT).

Ventilación media (VM)

Puede controlar la concentración, lo que da lugar a una situación de extensión de la zona estable mientras se produce la liberación y en la que la atmósfera explosiva del gas no persiste innecesariamente después de que haya cesado la fuga (ABNT).

Baja ventilación (VB)

No puede controlar la concentración mientras se produce la fuga y/o no puede evitar la permanencia indebida de una atmósfera de gas explosiva después de que haya cesado la fuga.

Evaluación del grado de ventilación

Sería simplista decir que un grado continuo de liberación conduciría a la Zona 0, un grado primario a la Zona 1 y un grado secundario a la Zona 2. Esto puede no ser cierto debido al efecto de la ventilación.

En algunos casos, el grado y la disponibilidad de ventilación pueden ser tan altos que en la práctica no habrá un área clasificada. De manera similar, el grado de ventilación puede ser tan bajo como para resultar en un grado más severo de Zona (por ejemplo, Zona 1 resultante de una fuente secundaria de liberación). Esto ocurre, por ejemplo, cuando el nivel de ventilación es tal que la atmósfera explosiva persiste y se dispersa muy lentamente después de que ha cesado la fuente de liberación.

El volumen V_z se puede utilizar para clasificar la ventilación como alta, media o baja. El tiempo de persistencia t se puede utilizar para decidir qué grado de ventilación se requiere para un área con el fin de cumplir con las definiciones de Zona 0, 1 o 2.



La ventilación puede considerarse alta si V_z es pequeña o cercana a cero. El término "alta ventilación" debe usarse solo en casos de ventilación artificial alrededor de la fuente, en áreas cerradas pequeñas o con tasas de liberación muy bajas.

Cabe destacar que en un área cerrada puede haber muchas fuentes de liberación. No es conveniente tener muchas áreas clasificadas pequeñas dentro de un área no clasificada.

También debe tenerse en cuenta que, con las tasas de liberación típicas consideradas para la clasificación de áreas, la ventilación natural es insuficiente incluso en áreas abiertas.

Por lo tanto, generalmente no es práctico ventilar artificialmente áreas cerradas de gran extensión a las tasas requeridas.

El volumen V_z no da una idea de cuánto tiempo persiste una atmósfera explosiva después de que cesa la liberación. Esto no es relevante para casos de alta ventilación, pero es un factor a considerar si la ventilación es baja o media.

Estimación hipotética del volumen (V_z)

El volumen hipotético V_z representa el volumen en el que la concentración media del gas o vapor inflamable suele ser de 0,25 o 0,5 veces el LII, dependiendo del valor del factor de seguridad k . Esto significa que, en los extremos del volumen hipotético estimado, la concentración del gas o vapor estaría significativamente por debajo del LII, es decir, el volumen en el que la concentración está por encima del LII sería menor que el V_z (ABNT).

Cabe señalar que los cálculos de V_z están destinados solo a ayudar en la evaluación del grado de ventilación. El volumen hipotético del riesgo no está directamente relacionado con la extensión de la zona clasificada. Las dimensiones de un área clasificada, de una fuente de riesgo dada, suelen ser unas pocas o incluso muchas veces mayores que el volumen hipotético V_z (ABNT).

Según la ABNT, para determinar el volumen hipotético, primero es necesario establecer el caudal mínimo de ventilación de aire teórico para diluir una cierta cantidad de material inflamable, hasta una concentración requerida por debajo del límite inferior de inflamabilidad. Esto se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación (1)

$$(dV/dt)_{Min} = \frac{(dG/dt)_{máximo} \times T}{MENTIRA 293}$$



Dónde:

- $(dV/dt)_{Min}$ es el caudal de aire volumétrico mínimo (volumen por tiempo, m^3/s);
 $(dG/dt)_{máximo}$ es la tasa máxima de liberación en la fuente de riesgo (masa por tiempo, kg/s);
 $MENTIR$ es el límite inferior de explosividad (en masa por volumen, kg/m^3);
 T es la temperatura ambiente (en Kelvin, K).

Nota: Para convertir el LIE (en %) en LIE_m (en kg/m^3) utilice la siguiente fórmula:

Ecuación (2)

$$m/SL \text{ (en } kg/m^3) = 0,416 \times 10^{-3} \times M \times ISL \text{ (en \%)}$$

Donde: M = masa molecular (kg/mol)

Con un número dado de intercambios de aire por unidad de tiempo C, en relación con la ventilación global de la zona, el volumen hipotético Vz de una atmósfera explosiva alrededor de la fuente de la emisión puede estimarse utilizando la fórmula:

Ecuación (3)

$$V_z = \frac{(dV/dt)_{min}}{K \times C}$$

Dónde:

- $(dV/dt)_{Min}$ es el caudal de aire volumétrico mínimo (volumen por tiempo, m^3/s);
 C Número de cambios de aire por unidad de tiempo (s^{-1})
 k factor de seguridad: 0,25 para fuentes de riesgo de grado continuo y primario; 0,5 para las fuentes de riesgo de grado secundario.

La fórmula anterior sería aplicable para una mezcla instantánea y homogénea en el punto de liberación, con condiciones ideales de flujo de aire fresco. En la práctica, es posible que no se encuentren tales situaciones, por ejemplo, debido a obstáculos para el flujo de aire, lo que resulta en partes mal ventiladas en la región. Por lo tanto, el intercambio efectivo de aire en la fuente de la liberación será menor que el dado por C en la fórmula (5), lo que conduce a un aumento en el



volumen Vz. La introducción de un factor de corrección f en la fórmula anterior da como resultado:

Ecuación (4)

$$Vz = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{K \times C}$$

Dónde:

- f** denota la eficiencia de la ventilación en la disolución de una atmósfera explosiva, y oscila entre 1 (ideal) y 5 (flujo de aire impedido).
- Vz** representa un volumen sobre el cual la concentración media de gas o vapor inflamable será de 0,25 a 0,5 veces el LIE, dependiendo del valor del factor de seguridad k utilizado en (3). Esto significa que, en los extremos del volumen estimado hipotético, la concentración del gas o vapor será significativamente menor que el LIE; es decir, el volumen hipotético donde la concentración estará por encima del LIE será menor que Vz.

Para un área cerrada, C viene dada por:

Ecuación (5)

$$C = \frac{(dV_{tot}/dt)}{V_o}$$

Dónde:

- dV_{tot}/dt caudal total de aire;
- V_o volumen total ventilado.

En áreas abiertas, incluso las velocidades bajas del viento producen un gran número de intercambios de aire. Considere un cubo hipotético con dimensiones de unos pocos metros en un área abierta. En este caso, una velocidad de 0,5 m/s producirá un número de intercambios de aire superior a 100/h (0,03/s)

En una aproximación conservadora, utilizando C= 0,03/s para la situación de área abierta, el volumen Vz se puede obtener mediante la fórmula:



Ecuación (6)

$$Vz = \frac{(dV/dt)_{min}}{0,03}$$

Sin embargo, debido a la mecánica de dispersión, este método dará como resultado un volumen sobredimensionado. La dispersión suele ser más rápida en condiciones de área abierta.

Tiempo de persistencia

El tiempo t necesario para que una concentración media caiga desde un valor X_0 inicial hasta el LIE multiplicado por k después de que haya cesado la liberación puede estimarse mediante:

Ecuación (7)

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$

Dónde:

- X_0** concentración inicial de sustancia inflamable medida en la misma unidad que el ISL. En algún punto de la atmósfera explosiva, la concentración puede alcanzar el 100%. Sin embargo, a la hora de calcular t , el valor adecuado para X o a considerar dependerá de cada caso, considerando, entre otros, el volumen, así como la frecuencia y duración de la liberación. En la mayoría de los casos es razonable considerar X lo anterior como la MENTIRA;
- C** es el número de intercambios de aire por unidad de tiempo;
- t** se expresa en la misma unidad de tiempo que C , es decir, si C es el número de intercambios de aire por segundo, entonces el tiempo t se da en segundos;
- f** factor de no homogeneización de la mezcla - ver fórmula (4) - que va desde 5 para ventilación limitada (por ejemplo, con una sola abertura de escape), hasta 1 (por ejemplo, ventilación que ingresa a un techo perforado y múltiples extractores);
- En** es el logaritmo neperiano, y
- k** factor de seguridad relacionado con la LIE – ver fórmula (4).



Estimación del grado de ventilación

Las estimaciones iniciales sugerirían que una fuente de riesgo de grado continuo generalmente conduce a la ocurrencia de una zona 0, así como una fuente de riesgo de grado primario para una zona 1 y una fuente de riesgo de grado secundario para una zona 2, pero este no es siempre el caso, debido al efecto de la ventilación (ABNT).

En algunos casos, el grado y el nivel de disponibilidad de ventilación pueden ser tan altos que en la práctica no hay un área clasificada. Por otro lado, el grado de ventilación puede ser tan bajo que la zona resultante tenga un tipo de zona de mayor riesgo. El volumen VZ se puede utilizar para proporcionar un medio para determinar el grado de ventilación como alto, medio o bajo para cada grado de liberación de la fuente de riesgo (ABNT).

Alta ventilación (VA)

La ventilación puede considerarse alta (VA) solo cuando una evaluación de riesgos muestra que el alcance del daño potencial debido al aumento repentino de la temperatura y/o la presión como resultado de la ignición de una atmósfera de gas explosiva de volumen igual a VZ (ABNT) es insignificante.

Según la ABNT, las condiciones anteriores se aplican normalmente cuando el VZ es inferior a $0,1 \text{ m}^3$ o inferior al 1% del VO, lo que sea menor. En la práctica, la ventilación alta generalmente se puede aplicar solo a un lugar donde un sistema de ventilación artificial rodea una fuente de riesgo para áreas cerradas pequeñas o en el caso de tasas de liberación muy pequeñas.

Baja ventilación (VB)

La ventilación debe considerarse baja (BV) si el VZ supera el VO. La baja ventilación generalmente no ocurre en situaciones abiertas, excepto cuando hay restricciones en el flujo de aire, como en las depresiones (ABNT).

Ventilación media (VM)

Si la ventilación no es ni alta (VA) ni baja (VB), entonces debe considerarse como media (MV). Por lo



general, VZ es menor o igual que VO. La ventilación considerada como medio debe ser capaz de controlar la dispersión de la liberación de vapor o gas inflamable. El tiempo requerido para dispersar una atmósfera explosiva de gas influye en el tipo de zona y el volumen VZ en comparación con el volumen VO influirá en la extensión del área clasificada (ABNT).

Disponibilidad de ventilación

La disponibilidad de ventilación influye en la presencia o formación de una atmósfera de gas explosiva. Por lo tanto, la disponibilidad (así como el grado) de ventilación debe tenerse en cuenta al determinar el tipo de zona (ABNT).

Según la ABNT, hay que tener en cuenta tres niveles de disponibilidad de ventilación:

- Bueno: la ventilación está presente prácticamente de forma continua;
- Satisfactorio: Se espera que la ventilación esté presente en condiciones normales de funcionamiento. Las discontinuidades están permitidas siempre que ocurran de manera esporádica y por períodos cortos;
- Pobre: ventilación que no cumple con el estándar de ventilación satisfactoria o buena, pero no se espera que ocurran discontinuidades durante períodos prolongados.

Una ventilación que ni siquiera cumple con el requisito de baja disponibilidad no debe considerarse un contribuyente de ventilación de área (ABNT).

En el caso de entornos abiertos, la evaluación de la ventilación debe basarse normalmente en la velocidad mínima del viento supuesta de 0,5 m/s, que estará presente de forma prácticamente continua. En este caso, la disponibilidad de ventilación puede considerarse buena (ABNT).

En la evaluación de la disponibilidad de ventilación artificial, es necesario tener en cuenta la fiabilidad de los equipos y la disponibilidad de estos, por ejemplo, sopladores de reserva (en "stand-by"). Una buena disponibilidad normalmente requerirá, en condiciones de fallo, la puesta en marcha automática de los soplantes de respaldo. Sin embargo, si se toman medidas para evitar la liberación de material inflamable cuando falla la ventilación (por ejemplo, deteniendo automáticamente el proceso), no es necesario modificar la clasificación especificada con la ventilación artificial en funcionamiento, es decir, se puede suponer que la disponibilidad es buena.

El efecto de la ventilación sobre los tipos de zonas se puede resumir en la siguiente tabla:

	Ventilação						
Grau da fonte de risco	Grau						
	Alto			Médio		Baixo	
	Disponibilidade						
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, satisfatória ou pobre
Contínuo	(Zona 0 ED) Não classificada ^a	(Zona 0 ED) Zona 2 ^a	(Zona 0 ED) Zona 1 ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primário	(Zona 1 ED) Não classificada ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 ou zona 0 ^c
Secundário ^b	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e mesmo Zona 0 ^c
Nota 1 "+" significa "envolvida por". Nota 2 "ED" significa "extensão desprezível".							
^a Zona 0 ED, 1 ED ou 2 ED indica uma zona teórica que seria de extensão desprezível sob condições normais ^b A zona 2 criada por uma fonte de risco de grau secundário pode exceder aquelas atribuídas à fonte de risco de grau primário ou contínuo; neste caso, a maior distância necessita ser considerada. ^c Será zona 0 se a ventilação for tão fraca e a liberação for tal que na prática uma atmosfera explosiva de gás exista praticamente de modo contínuo (ou seja: aproxima-se à condição de "não ventilado").							



Ejemplos de cálculo

A continuación, presentaremos algunos ejemplos de cálculos para determinar el grado de ventilación.

Ejemplo 1

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable: Vapor de Tolueno
Fuente de riesgo: Brida en la entrada del compresor
MENTIR: 0,046 kg/m³ (1,2% vol)
Grado de la fuente de riesgo: continuo
Factor de seguridad k: 0,25
Valor de (dG/dt)_{máximo} : 0,001 g/h (2,8x10⁻¹⁰ kg/s)

Características de ventilación:

Ambiente interior
Número de intercambio de aire, C: 1/h, (2.8x10⁻⁴/s)
Factor de calidad: 5
Temperatura ambiente: 20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo} \times T}{MENTIRA \ 293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{2,8 \times 10^{-10} \times 293}{0,25 \times 0,046 \ 293} = 2,8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):

$$Vz = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$VZ = \frac{5 \times 2,8 \times 10^{-8}}{2,8 \times 10^{-4}} = 4,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

No se aplica a la fuente de riesgo de grado continuado.



Conclusión:

El volumen hipotético VZ se considera despreciable.

El grado de ventilación se considera ALTO, en relación con la fuente de riesgo.

Ejemplo 2

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable: Vapor de Tolueno
Fuente de riesgo: Falla de la brida
MENTIR: 0,046 kg/m³ (1,2% vol)
Grado de la fuente de riesgo: secundario
Factor de seguridad k: 0,5
Valor de (dG/dt)_{Máximo} : 10 g/h (2,8x10⁻⁶ kg/s)

Características de ventilación:

Ambiente interior
Número de intercambio de aire, C: 1/h, (2,8x10⁻⁴/s)
Factor de calidad: 5
Temperatura ambiente: 20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo} \times T}{MENTIRA \ 293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{2,8 \times 10^{-6} \times 293}{0,5 \times 0,046 \ 293} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):

$$Vz = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$VZ = \frac{5 \times 1,2 \times 10^{-6}}{2,8 \times 10^{-4}} = 2,2 \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

Usando la ecuación (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{Xo}$$

$$t = \frac{-5}{1} \ln 1,2 \times 0,5 = 25,6 \text{ horas}$$



1 100

Conclusión:

El volumen hipotético VZ es significativo, pero se puede controlar.

El grado de ventilación se considera MEDIO, en relación con la fuente de riesgo.

Ejemplo 3

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable: Propano
Fuente de riesgo: Brazo de carga
MENTIR: 0,039kg/m³ (2,1% vol)
Grado de la fuente de riesgo: primario
Factor de seguridad k: 0,25
Valor de (dG/dt)_{Máximo} : 0,005 kg/s

Características de ventilación:

Ambiente interior
Número de intercambio de aire, C: 20/h, (5,6x10⁻³/s)
Factor de calidad: 1
Temperatura ambiente: 35°C (308K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1,05

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo} \times T}{MENTIRA \ 293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{0,005}{0,25 \times 0,039 \ 293} \times \frac{308}{293} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):

$$Vz = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$VZ = \frac{1 \times 0,6}{5,6 \times 10^{-3}} = 1,1 \times 10^2 \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

Usando la ecuación (7):



$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_o}$$

$$t = \frac{-5}{20} \ln \frac{2,1 \times 2,5}{100} = 0,26 \text{ horas}$$

Conclusión:

El volumen hipotético VZ es significativo, pero se puede controlar.

El grado de ventilación se considera MEDIO, en relación con la fuente de riesgo. El concepto de Zona 1 puede no ser adecuado si la operación tiene una frecuencia alta.

Ejemplo 4

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable: Amoníaco (gas)
Fuente de riesgo: evaporador que válvula
MENTIR: 0,105kg/m³ (14,8% vol)
Grado de la fuente de riesgo: secundario
Factor de seguridad k: 0,5
Valor de (dG/dt)_{Máximo} : 5 x 10⁻⁶ kg/s

Características de ventilación:

Ambiente interior
Número de intercambio de aire, C: 15/h, (4,2x10⁻³/s)
Factor de calidad: 1
Temperatura ambiente: 20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo} \times T}{MENTIRA \ 293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{5 \times 10^{-6} \times 293}{0,5 \times 0,105 \ 293} = 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$



$$VZ = \frac{1 \times 9,5 \times 10^{-5}}{4,2 \times 10^{-3}} = 0,023 \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

Usando la ecuación (7):

$$t = \frac{-f}{C X_o} \ln \frac{LIE \times k}{C X_o}$$

$$t = \frac{-1}{15} \ln \frac{14,8 \times 0,5}{100} = 0,17 \text{ horas (10 minutos)}$$

Conclusión:

El volumen hipotético VZ se reduce a un valor insignificante.

El grado de ventilación se considera ALTO, en relación con la fuente de riesgo.

Ejemplo 5

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable:	Propano (gas)
Fuente de riesgo:	Sello del compresor
MENTIR:	0,039kg/m ³ (2,1% vol)
Grado de la fuente de riesgo:	secundario
Factor de seguridad k:	0,5
Valor de (dG/dt) _{Máximo} :	0,02 kg/s

Características de ventilación:

Ambiente interior	
Número de intercambio de aire, C:	2/h, (5.6x10 ⁻⁴ /s)
Factor de calidad:	5
Temperatura ambiente:	20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K):	1

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo}}{MENTIRA \times 293} \times T$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{0,02}{0,5 \times 0,039 \times 293} \times 293 = 1,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):



$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$V_z = \frac{5 \times 1,02}{5,6 \times 10^{-4}} = \text{aproximadamente } 9200 \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

Usando la ecuación (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_o}$$

$$t = \frac{-5}{2} \ln \frac{2,1 \times 0,5}{100} = 11,4 \text{ horas}$$

Conclusión:

En un entorno con dimensiones: 10 x 15 x 6 m³, por ejemplo, el área clasificada se extendería fuera del entorno y persistiría.

El grado de ventilación se considera BAJO, en relación con la fuente de riesgo.

Ejemplo 6

Características de la Fuente de Riesgo:

Material inflamable:	Metano (gas)
Fuente de riesgo:	Falla de la instalación de tubería
MENTIR:	0,033kg/m ³ (5% vol)
Grado de la fuente de riesgo:	secundario
Factor de seguridad k:	0,5
Valor de (dG/dt) _{Máximo} :	1 kg/s

Características de ventilación:

Ambiente externo	
Velocidad mínima del viento:	aproximadamente 0,5 m/s
Dando como resultado un número de intercambio de aire, C:	> 3x10 ⁻² /s
Factor de calidad:	3
Temperatura ambiente:	15°C (288K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K):	0,98

Cálculo del caudal de aire mínimo:

Usando la ecuación (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{Máximo}}{K \times MENTIRA} \times \frac{T}{293}$$



$$(dV/dt)_{min} = \frac{1}{0,5 \times 0,033 \ 293} \times \frac{288}{293} = 59,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del volumen VZ (hipotético):

Usando la ecuación (4):

$$Vz = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$VZ = \frac{3 \times 59,3}{3 \times 10^{-2}} = 5900 \text{ m}^3$$

Tiempo de persistencia:

Usando la ecuación (7):

$$t = \frac{-f}{C \times X_o} \ln \frac{LIE \times k}{X_o}$$

$$t = \frac{-5}{0,03} \ln \frac{5 \times 0,5}{100} = 370 \text{ segundos (máximo)}$$

Conclusión:

El volumen hipotético VZ es significativo, pero se puede controlar y no persistirá.

El grado de ventilación se considera MEDIO, en relación con la fuente de riesgo.

Norma Reguladora 10 (NR10)

Esta norma tiene fuerza de ley, es decir, todas las empresas deben seguirla.

La NR10 fue modificada en 2004 para incluir obligaciones relacionadas con el equipo eléctrico en áreas clasificadas. Los principales requisitos para las áreas peligrosas son:

- 1 – **Identificar** las áreas;
- 2 – **Instalar** equipos adecuados y certificados;
- 3 – **Inspeccionar continuamente** los sistemas eléctricos y electrónicos;
- 4 – **Capacitar** a los profesionales que operan estos sistemas eléctricos y electrónicos.

NR10 se puede ejemplificar a través del triángulo de seguridad que se presenta como se muestra en la figura 3 a continuación:



Figura 3 - Triângulo de segurança.

Clasificación de áreas

La clasificación de una zona, es decir, el cálculo de su grado de riesgo, se realiza con el fin de mapear las zonas donde pueden producirse mezclas inflamables. Esta clasificación se lleva a cabo durante la fase de preparación del plan de instalación y debe ser elaborada por un equipo multidisciplinar de profesionales. El proyecto debe realizarse de tal manera que las áreas clasificadas sean lo más pequeñas posible.

Clasificación de productos inflamables

La clasificación del ambiente en cuanto a la sustancia presente en él, según las normas API (American Petroleum Institute) y NEC (National Electrical Code) viene dada por la tabla 1 y se subdivide en grupos de clase I y II para gases con propiedades similares, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 1 - Clases de sustancias inflamables.

Classe	I	II	III
Substância	Gases e Vapores	Poeiras	Fibras

Tabla 2 - Grupos de sustancias inflamables.

Classe	Grupo	Definição
I	A	Gases da família do Acetileno
	B	Butadieno, óxido de Etileno, Hidrogênio ou gases e vapores de risco equivalente ao do Hidrogênio
	C	Eteno, Ciclopropano, Éter Etílico, Etileno ou gases e vapores de risco equivalente
	D	Propano, Acetona, Álcool, Amônia, Benzeno, Butano, Gasolina, Metano, Gás Natural, vapores de vernizes e gases e vapores de risco equivalente
II	E	Pós metálicos combustíveis: Alumínio, Magnésio, ligas de Alumínio ou Magnésio e pós com tamanho de partícula, abrasividade e condutividade com risco similar
	F	Pós carbonáceos combustíveis: pós de carvão, de grafite, de coque e pós que apresentem características similares
	G	Pós combustíveis que não se enquadrem nos grupos E e F: pós de cereais, de plásticos, de produtos químicos. Ex.: açúcar, farinha de trigo, algumas resinas termoplásticas
III	–	Fibras Combustíveis ou material leve flutuante de fácil ignição, mas que não são prováveis de ficar em suspensão no ar em quantidades suficientes para formar mistura explosiva. Ex.: Algodão, juta, milho, cacau e fibras de madeira

La división en grupos también significa una gradación del riesgo, donde los gases del grupo A son los que tienen el mayor efecto destructivo y los gases del grupo D los que tienen el menor efecto destructivo.

La secuencia del riesgo es, desde el grado más alto hasta el más bajo:

A → B → C → D

La norma internacional (IEC - Comisión Electrotécnica Internacional) y la norma brasileña (ABNT - Asociación Brasileña de Normas Técnicas) no clasifican el ambiente en clases, sino en grupos, separados según el equipo eléctrico utilizado.

Grupo I – Equipos fabricados para operar en minas subterráneas;

Grupo II – Equipos fabricados para operar en industrias de superficie.

El grupo II se divide en 3 subgrupos, según la peligrosidad del gas. La siguiente tabla muestra la comparación entre la clasificación de los gases según las normas americanas e internacionales,

como se muestra en la tabla 3 a continuación:

Tabla 3 - Comparación entre las normas IEC y NEC

	Grupo do Acetileno	Grupo do Hidrogênio	Grupo do Eteno	Grupo do Propano	Gases de Minas (Metano)
API/NEC	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	-
ABNT/IEC	Grupo IIC	Grupo IIC	Grupo IIB	Grupo IIA	Grupo I

Los equipos eléctricos utilizados en áreas clasificadas con sustancias de Clase 1 (gases y vapores) se marcan de acuerdo con su temperatura superficial máxima, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4 - Clasificación según la Temperatura Superficial Máxima.

Temperatura Máxima de Superficie (°C)	Número de Identificação (NEC)	Número de Identificação (IEC/ABNT)
450	T1	T1
300	T2	T2
280	T2A	
260	T2B	
230	T2C	
215	T2D	
200	T3	T3
180	T3A	
165	T3B	
160	T3C	
135	T4	T4
120	T4A	
100	T5	T5
85	T6	T6

Clasificación de los entornos

La clasificación en clases y grupos se refiere a las sustancias presentes en la instalación. También es necesario clasificar la zona según el grado de riesgo al que está expuesta y el grado de atmósfera inflamable.

La norma americana contempla dos divisiones:



- ✓ **División 1:** Lugares con alta probabilidad de presencia de mezcla inflamable;
- ✓ **División 2:** Lugares con baja probabilidad de presencia de mezcla inflamable.

La norma internacional, por su parte, divide las áreas en tres zonas:

Zona 0

Área en la que una atmósfera explosiva de gas, que consiste en una mezcla con aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla, está presente durante períodos prolongados o con frecuencia.

En estas zonas, la probabilidad de presencia de una atmósfera explosiva es mayor que 1000 horas al año.

Las siguientes regiones se consideran como zona 0:

- ✓ La superficie de un líquido inflamable en un tanque de techo fijo, con ventilación permanente a la atmósfera;
- ✓ La superficie de un líquido inflamable que está abierta a la atmósfera, ya sea de forma continua o durante largos períodos (separador de aceite/agua).

Zona 1

Área en la que ocasionalmente puede producirse una atmósfera explosiva de gas que consiste en una mezcla con aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla en condiciones normales de funcionamiento. En estas zonas, la probabilidad de aparición de una atmósfera explosiva es de entre 10 y 1000 horas al año.

Las regiones consideradas como zona 1 son:

- ✓ Sellos de bombas, compresores o válvulas, si se espera que la liberación de material inflamable ocurra durante el funcionamiento normal;



- ✓ Puntos de drenaje de agua en recipientes que contienen líquidos inflamables, que pueden liberar el material inflamable a la atmósfera durante el drenaje de agua en funcionamiento normal;

Zona 2

Zona en la que no se espera que se forme una atmósfera explosiva de gas que consiste en una mezcla con aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla en condiciones normales de funcionamiento y, si lo hace, persistirá sólo durante un breve período de tiempo.

En estas zonas, la probabilidad de presencia de una atmósfera explosiva es de entre 1 y 10 horas al año.

Las regiones consideradas como zona 2 son:

- ✓ Bridas, accesorios y accesorios de tubería, en los que no se espera que se produzca la liberación de material inflamable a la atmósfera en condiciones normales de funcionamiento;
- ✓ Sellos de bombas, compresores y válvulas en los que no se espera que se produzca la liberación de material inflamable a la atmósfera en condiciones normales de funcionamiento;
- ✓ Válvulas de alivio, respiraderos y otras aberturas donde no se espera que ocurra la liberación de material inflamable a la atmósfera en condiciones normales de operación.

En la Tabla 5 se comparan los conceptos de clasificación en DIVISIÓN y ZONA.

Tabla 5 - Comparación entre las normas IEC y NEC

	Ocorrência contínua da mistura inflamável	Ocorrência da mistura inflamável durante a operação normal do equipamento	Ocorrência da mistura inflamável durante condições anormais do equipamento
IEC/ABNT	Zona 0	Zona 1	Zona 2
NEC/API	Divisão 1		Divisão 2

Figuras de clasificación

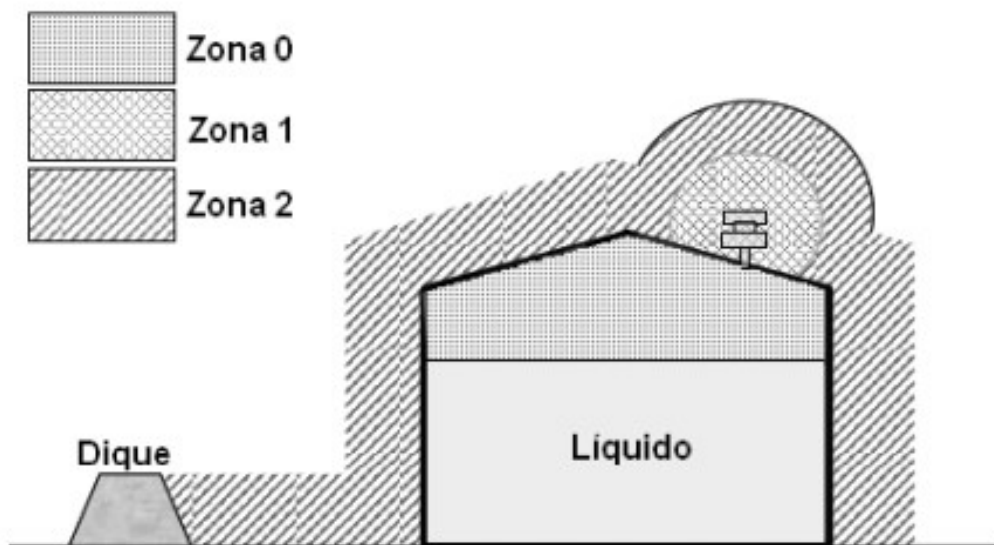


Figura 4 - Tanque de almacenamiento de líquidos inflamables.

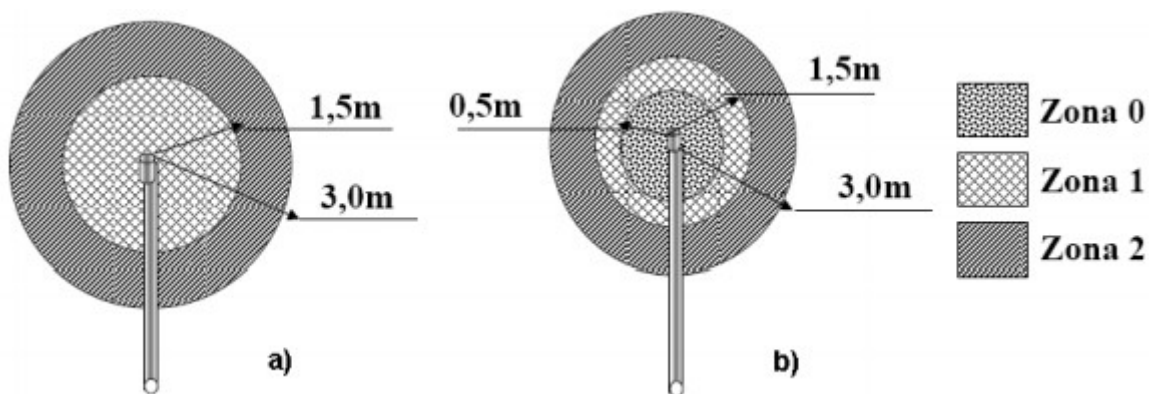


Figura 5 - Rejillas de ventilación de los equipos situadas al aire libre y bien ventiladas. a) Respirador que no esté sujeto a descargas continuas o por períodos prolongados; b) Respirador sujeto a descargas continuas o por períodos prolongados.

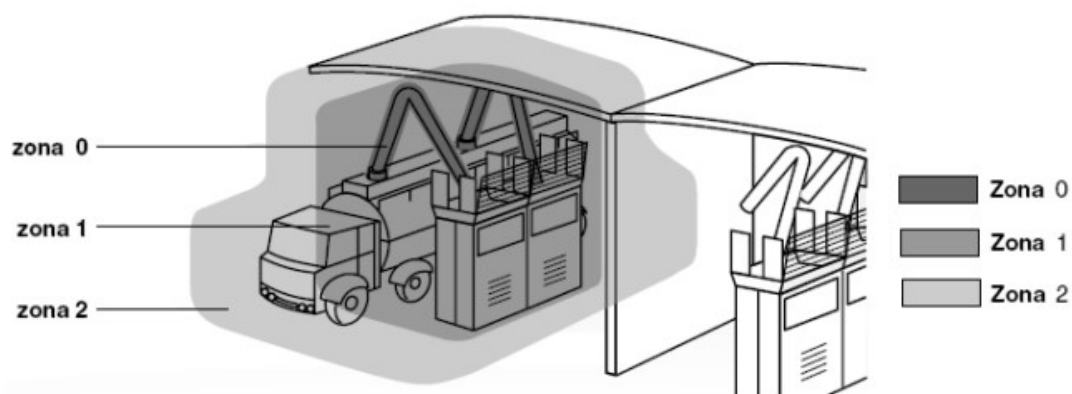


Figura 6 - Unidad de suministro.

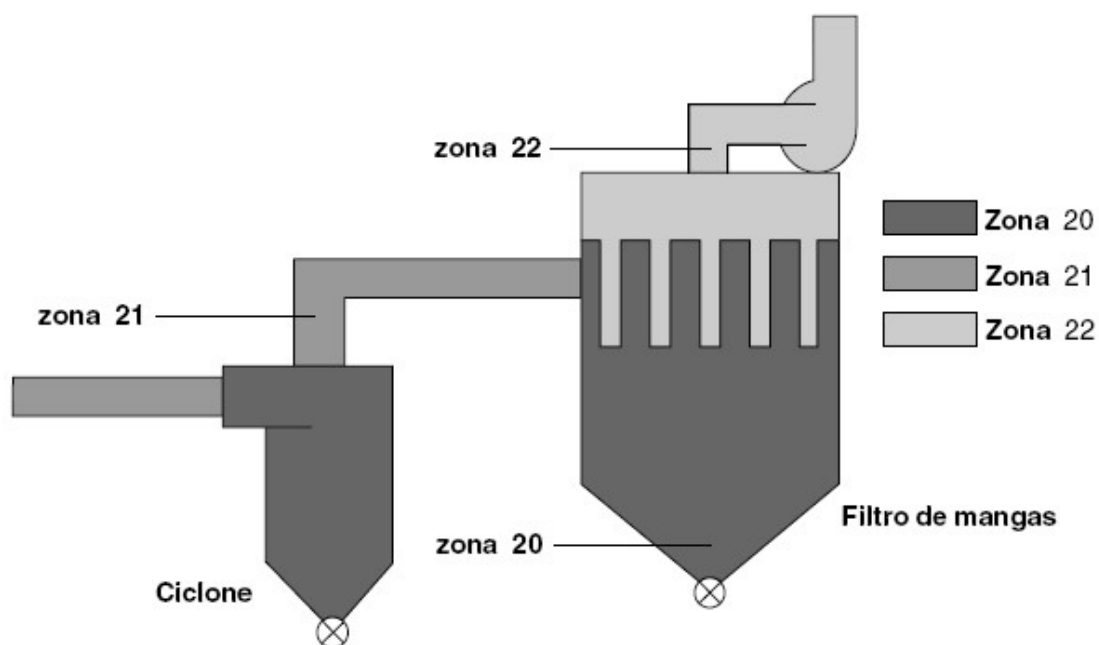


Figura 7 - Ambiente con polvo inflamable.

Áreas no clasificadas

Se trata de lugares donde la probabilidad de presencia de atmósferas explosivas no es tan frecuente (menos de 1 hora al año), lo que no requiere precauciones especiales para la construcción, instalación y uso de equipos eléctricos.

Se pueden mencionar como áreas no clasificadas las siguientes:



- ✓ Áreas adecuadamente ventiladas donde las sustancias inflamables están contenidas en sistemas de tuberías cerrados sujetos a un buen mantenimiento y en las que solo se incluyen tuberías, válvulas, bridas, manómetros y accesorios de tubería;
- ✓ Áreas con ventilación limitada o impedida donde las sustancias inflamables están contenidas en sistemas de tuberías cerrados sin válvulas, bridas y accesorios de tubería;
- ✓ Lugares donde se almacenen líquidos o gases inflamables en recipientes adecuados aprobados o certificados por normas específicas para este fin;
- ✓ Áreas donde se almacenan y/o transportan sustancias inflamables en contenedores específicamente aprobados para este propósito por un organismo certificador acreditado;
- ✓ Áreas de unidades de transporte alrededor de una fuente de ignición permanente de origen no eléctrico.

Clasificación de Ambientes con Polvo Inflamable

Zona 20

Un área en la que el polvo combustible, en forma de nube, está presente de forma continua o frecuente, durante el funcionamiento normal, en cantidad suficiente para producir una concentración explosiva de polvo mezclado con aire. También puede ser una zona o lugar donde se forman capas de polvo de forma descontrolada o de espesor excesivo.

Ejemplos: Dentro de equipos de proceso, como silos, mezcladores y molinos, en los que se introduce o produce polvo.

Zona 21

Un área en la que el polvo combustible, en forma de nube, puede ocurrir durante el funcionamiento normal, en cantidad suficiente para producir una concentración explosiva de polvo mezclado con aire.

Ejemplo: áreas inmediatamente adyacentes a los puntos de vaciado y llenado de polvo, como sitios de llenado de sacos (abiertos).

Zona 22

Un área en la que el polvo combustible, en forma de nube, puede ocurrir por cortos períodos de



tiempo o en el que la acumulación o deposición de capas de polvo puede ocurrir durante condiciones de operación anormales en cantidad suficiente para producir una concentración explosiva de polvo mezclado con aire.

Ejemplo: compartimentos subterráneos que deben abrirse de vez en cuando y solo por períodos cortos.

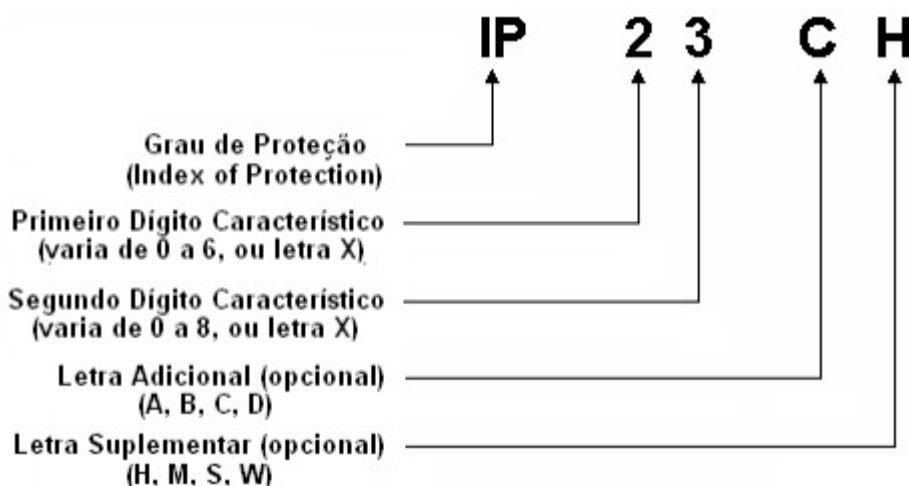
Equipos eléctricos

Grado de protección

El cerramiento de un equipo es el conjunto de paredes que rodean las partes vivas de un equipo eléctrico, incluidas puertas, cubiertas y entradas de cables, ejes, varillas y soportes.

El grado de protección que ofrecen los cerramientos está definido por las normas NBR6146 y NBR9884. Estas normas no son específicas para los equipos utilizados en atmósferas explosivas, pero pueden considerarse una característica adicional para algunos tipos de protección.

El grado de protección se refiere a las medidas aplicadas a los cerramientos de los equipos eléctricos para garantizar la protección de las personas contra el contacto o el acercamiento con partes vivas y contra el contacto con partes móviles (excepto ejes giratorios y similares) dentro del recinto y la protección del equipo contra la penetración de cuerpos extraños sólidos; así como la protección de los equipos dentro del recinto de los efectos dañinos de la penetración de agua.



En la figura 8 se presenta la simbología del grado de protección.

Cuando el primer o segundo dígito característico está representado por la letra X, significa que este

número se ha omitido de la especificación.

Característica Primer dígito

El primer dígito característico indica la protección de la carcasa del equipo contra la entrada de cuerpos sólidos extraños o contra el acceso de partes del cuerpo humano o de objetos que una persona esté sosteniendo, como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6 - Primer dígito característico

Primeiro Dígito Característico	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Corpos que não devem penetrar
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50mm	Uma grande superfície do corpo humano, como o dorso da mão
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12mm	Dedos ou objetos similares (desde que o comprimento seja menor que 80mm)
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5mm	Ferramentas (ex.: chave de fenda), fios e objetos similares
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1,0mm	Fios ou fitas
5	Protegido contra poeira	A poeira pode penetrar em quantidade que não seja suficiente para prejudicar a operação do equipamento
6	Totalmente protegido contra poeira	Nenhuma penetração de poeira



Característica Segundo dígito

El segundo dígito característico indica el grado de protección del recinto en relación con los efectos nocivos causados por la entrada de agua, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 - Segundo dígito característico

Segundo Dígito Característico	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Proteção dada
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água	Gotas verticais não devem ter efeitos prejudiciais
2	Protegido contra quedas de gotas d'água para uma inclinação máxima de 15°	Água caindo verticalmente não causa efeitos danosos ao invólucro quando este estiver inclinado em 15° para qualquer lado de sua posição normal
3	Protegido contra água aspergida ou da chuva	Água da chuva fina ou aspergida em ângulo de até 60° em qualquer lado da vertical não causa efeitos danosos ao invólucro
4	Protegido contra projeções d'água	Água respingada de qualquer direção não causa efeitos danosos no invólucro
5	Protegido contra jatos d'água	Água projetada em jatos contra o invólucro em qualquer direção não causa efeitos danosos
6	Protegido contra ondas do mar	Água projetada em jatos potentes contra o invólucro em qualquer direção não causa efeitos danosos
7	Protegidos contra imersão	Não deve ser possível a penetração de água, em quantidades prejudiciais, no interior do invólucro imerso em água, sob condições definidas de tempo e pressão
8	Protegido contra submersão	O equipamento é adequado para submersão contínua em água, nas condições especificadas pelo fabricante.



Letra Adicional

La letra adicional indica el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas dentro del recinto. Esta letra solo debe utilizarse si la protección del aparato es mayor que la indicada por el primer dígito característico o si el primer dígito característico se sustituye por una X (no mencionada), como se muestra en la tabla 8:

Cuadro 8 - Carta Adicional

Letra Adicional	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Definição
A	Protegido contra o acesso com o dorso da mão	O corpo de prova de acesso, de diâmetro 50mm, deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
B	Protegido contra o acesso de um dedo	O dedo de prova padrão, articulado, de 12mm de diâmetro e 80mm de comprimento, deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
C	Protegido contra o acesso de uma ferramenta	O corpo de prova de acesso de 2,5mm de diâmetro e 100mm de comprimento deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
D	Protegido contra o acesso de um fio	O corpo de prova de acesso de 1,0mm de diâmetro e 100mm de comprimento deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.

Letra Suplementar

Para algunos equipos, generalmente se requiere una indicación adicional del grado de protección. Las cartas complementarias figuran en el cuadro 9 infra.

Tabla 9 - Letra Te Voy A Matar

Letra Suplementar	Grau de Proteção
	Definição
H	Equipamento de alta tensão
M	Ensaiado para verificar a proteção quanto aos efeitos danosos devido à penetração de água, com suas partes móveis em movimento (ex: rotor de uma máquina girante em movimento)
S	Ensaiado para verificar a proteção quanto aos efeitos danosos devido à penetração de água, com suas partes móveis em repouso (ex: rotor de uma máquina girante parado)
W	Invólucro projetado de maneira a ser utilizado dentro de condições atmosféricas especificadas e provido de medidas ou procedimentos complementares de proteção

Equipos eléctricos para atmósferas explosivas

Como se indicó anteriormente, la forma de acabar con el riesgo de ignición de una atmósfera explosiva es eliminar la sustancia que forma esa atmósfera o eliminar las fuentes de ignición.

En este capítulo se presentarán equipos fabricados para zonas donde no sea posible eliminar la sustancia inflamable, es decir, equipos con protecciones que tengan como objetivo eliminar o separar la fuente de ignición de la atmósfera explosiva.

Las fuentes de ignición pueden tener los siguientes orígenes:

- ✓ **Electrónica**: sensores, transmisores, circuitos electrónicos en general;
- ✓ **Eléctrico**: cableado abierto, paneles, contactores, pulsadores, luminarias, etc.
- ✓ **Mecánicos**: cinta transportadora, elevadores, molinos, separadores, etc.
- ✓ **Electrostáticas**: fricción, rodadura, trasiego de líquidos inflamables.

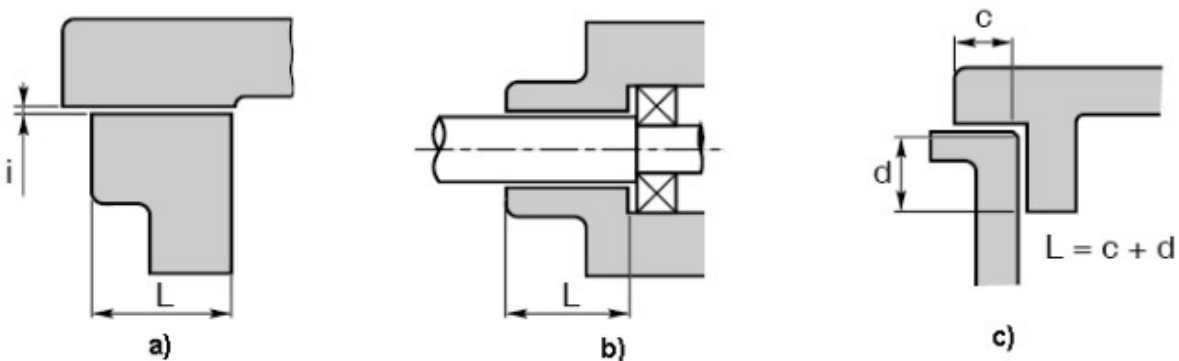
Cada tipo de equipo tiene como objetivo eliminar una o más fuentes de ignición y solo puede clasificarse como Ex (atmósfera explosiva) si recibe la certificación de un organismo autorizado para este fin.

Tipos de protección

Existen varias técnicas de construcción aplicadas a los equipos eléctricos para que no sean la fuente de ignición de una atmósfera explosiva. Estas técnicas se denominan tipo de protección y nada impide que los equipos tengan más de un tipo de protección.

A prueba de explosiones – Ex d

Un tipo de protección de equipo eléctrico con una carcasa capaz de soportar una presión de explosión interna sin romperse y sin permitir que la explosión se propague al entorno externo. Este fue el primer tipo de protección creado. La primera parte de la protección, es decir, resistir la explosión interna sin romperse, se realiza colocando paredes resistentes en el equipo. La barrera para evitar que la explosión interna se propague al ambiente externo se realiza a través de intersticios dimensionados para enfriar los gases expulsados por una eventual explosión interna, como se muestra en la figura 9.



En la figura 9, el intersticio de seguridad máximo y la longitud de la junta a prueba de explosiones están representados, respectivamente, por las letras "i" y "L".

Este tipo de equipo se utiliza en áreas clasificadas como zonas 1 o 2.

Principales aplicaciones

La protección a prueba de explosiones se aplica principalmente a equipos de potencia, tales como: disyuntores, contactores, equipos de control, motores, transformadores y accesorios de iluminación, como se muestra en la figura 10.



Figura 10 - Equipo Ex a prueba de explosiones. a) Luminaria; b) Conductor; c) Enchufe y toma de corriente; d) Motor.

Aumento de la seguridad – Ex e

Un tipo de protección en la que se aplican medidas de construcción adicionales para aumentar la seguridad contra la posibilidad de temperaturas excesivas o de arcos y chispas que ocurren en el interior o exterior del equipo eléctrico en condiciones normales de funcionamiento.

Algunos ejemplos de medidas constructivas que se implementan en estos equipos son: limitación del aumento de temperatura en los rodamientos de un motor, doble capa de aislamiento en el equipo y aumento del grado de protección de la carcasa.

Este tipo de equipo se puede utilizar en áreas clasificadas como zonas 1 o 2.

Principales aplicaciones

Las principales aplicaciones para aumentar la protección de la seguridad son: cajas de terminales, cuadros eléctricos, motores con rotor en jaulas, transformadores para instrumentos y luminarias.



Equipos sumergidos en aceite – Ex o

Un tipo de protección de equipo eléctrico en el que todo o partes del equipo están sumergidos en aceite de tal manera que una atmósfera gaseosa explosiva, que puede existir por encima de la superficie del aceite o extremadamente cerca de la carcasa, no es encendida por el equipo.

No todos los equipos sumergidos en aceite pueden utilizarse en atmósferas explosivas, solo aquellos certificados para este fin.

Los equipos sumergidos en aceite certificados para atmósferas explosivas se pueden utilizar en áreas clasificadas como zona 1 o 2.

Principales aplicaciones

La principal aplicación de este tipo de protección es en los transformadores.

Equipos presurizados – Ex p

El interior de la carcasa del equipo se mantiene a una presión superior a la atmosférica. Esto evita el contacto de la mezcla inflamable con las piezas que podrían causar una ignición.

Para generar sobrepresión dentro del recinto, se utiliza aire no contaminado o gas inerte.

Este tipo de protección se puede utilizar en zonas clasificadas como zona 1 o zona 2 y la norma IEC 60079-2 la divide en tres tipos de presurización, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10 - Tipos de presurización

Tipo de Pressurização	Definição
px	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 1 para não classificada ou grupo I para não classificada
py	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 1 para zona 2
pz	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 2 para não classificada

Principales aplicaciones

Las principales aplicaciones de los equipos presurizados se encuentran en tableros de distribución, salas de control y generadores.



Equipo de inmersión en arena – Ex q

Las partes del equipo capaces de encender una atmósfera potencialmente explosiva están fijas en su posición y completamente rodeadas de arena u otro material en forma de polvo.

Este tipo de protección no evita que la atmósfera explosiva entre en contacto con el interior del equipo, pero el pequeño volumen libre en el material aislante hace que cualquier arco que se produzca en el interior de la carcasa no encienda la atmósfera gaseosa que lo rodea.

Este tipo de protección se utiliza en zonas clasificadas como zonas 1 o 2.

Principales aplicaciones

Este tipo de protección se aplica principalmente a condensadores, transformadores, balastos electrónicos y baterías selladas.

Equipo encapsulado en resina – Ex m

Un tipo de protección en la que las partes que pueden provocar la ignición de la atmósfera explosiva están encapsuladas por una resina suficientemente resistente a las influencias ambientales y de tal manera que la atmósfera explosiva no puede encenderse por chispa o por alta temperatura desde el interior del equipo.

Este tipo de protección se puede utilizar en las zonas 1 y 2.

Principales aplicaciones

Este tipo de protección se aplica principalmente a paramenta, sensores, pequeños contactores e indicadores.

Equipos no inflamables – Ex n

Tipo de protección aplicable a los equipos eléctricos que, en condiciones normales de funcionamiento y en determinadas condiciones anormales especificadas, no son capaces de provocar la ignición de la atmósfera explosiva de gas reinante en el medio ambiente, y no es probable que se produzca un fallo capaz de provocar la ignición de dicha atmósfera.



Este tipo de equipo se puede utilizar en áreas clasificadas como zona 2.

Principales aplicaciones

Este tipo de protección se aplica principalmente en luminarias, equipos de comunicación y dispositivos de medición.

Equipos de Protección Especial – Ex s

Equipos que no siguen los métodos de protección existentes, pero que están probados y analizados para su uso en atmósferas explosivas.

Este tipo de protección tiene la función de no bloquear la creatividad de los fabricantes, ya que, si se inventa una nueva protección, ésta puede ser comercializada tras pasar por una entidad registrada para proporcionar un "CERTIFICADO DE EQUIVALENCIA". Este certificado indica que el equipo tiene un nivel de seguridad equivalente a algunos previstos en la estandarización existente.

Como ejemplo, se puede mencionar una luminaria fluorescente de mayor seguridad, que, debido a las restricciones de la norma, solo se puede construir con lámparas monopino. Sin embargo, este tipo de lámpara no se fabrica en algunos países. Para solucionar este problema, un alemán desarrolló un dispositivo que transformaba una lámpara bipino convencional en una lámpara monopino. Esta lámpara ha sido sometida a un certificador alemán que la ha certificado como especial y equivalente al tipo de protección Ex e (mayor seguridad).

Los equipos de tipo especial se pueden utilizar en las zonas 0, 1 y 2, dependiendo de la equivalencia que hayan recibido en el certificado.

Equipo de seguridad intrínseca – Ex i

La energía eléctrica interna del equipo se manipula de tal manera que no es suficiente para la ignición de una atmósfera explosiva, es decir, cualquier circuito intrínseco está diseñado para que no alcance la energía mínima de ignición.

El equipo no puede generar energía eléctrica (chispa) o térmica en condiciones normales de funcionamiento y también en condiciones anormales, como en el caso de cortocircuitos o fallas a tierra.

Este equipo se divide en dos categorías:



- ✓ **ib:** Equipo eléctrico intrínsecamente seguro incapaz de provocar una ignición, ya sea en funcionamiento normal o en presencia de una falla contable (falla especificada en la norma);
- ✓ **ia:** Equipo eléctrico intrínsecamente seguro capaz de provocar una ignición, ya sea en funcionamiento normal, en presencia de una falla contable o en presencia de cualquier combinación de dos fallas.

Los equipos IAM intrínsecamente seguros se pueden utilizar en las zonas 0, 1 y 2 y los equipos IB en las zonas 1 y 2.

Principales aplicaciones

La protección de tipo Ex i se utiliza con mayor frecuencia en sensores y dispositivos de medición y/o regulación y en equipos de comunicación.

Energía de ignición

La figura 11 muestra la curva de energía de ignición por la concentración de combustible en relación con el aire. El gráfico también muestra el punto que requiere la energía más baja para provocar una explosión (EMI - Energía Mínima de Ignición), el Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) y el Límite Superior de Inflamabilidad (LSI) del Hidrógeno.

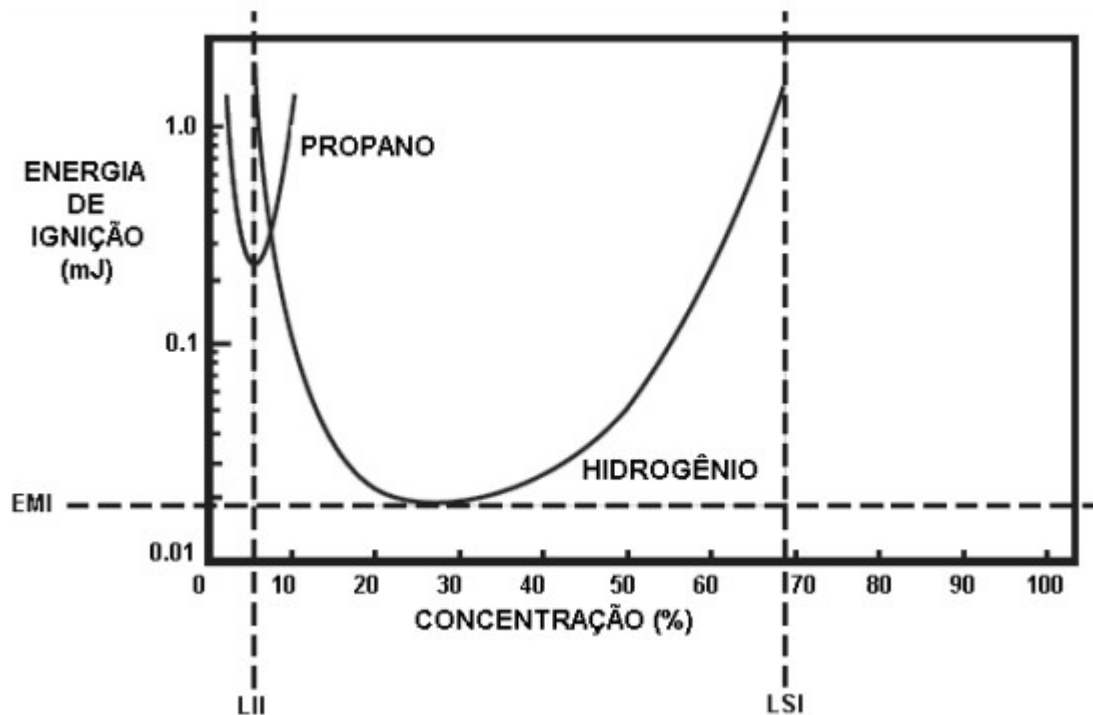


Figura 11 - Gráfico de energía de ignición x concentración.

Los circuitos de Seguridad Intrínseca siempre manipulan y almacenan energías por debajo del límite mínimo de explosividad de los gases representativos de cada familia, considerando así las concentraciones más peligrosas. De esta forma, incluso en condiciones anormales de funcionamiento del equipo, los circuitos de Seguridad Intrínseca no provocan ignición, ya que no disponen de energía suficiente para ello.

La energía máxima que pueden generar los equipos intrínsecamente seguros se encuentra en la norma NBR 8447. Un ejemplo de estos límites de energía se muestra en la Figura 12 a continuación.

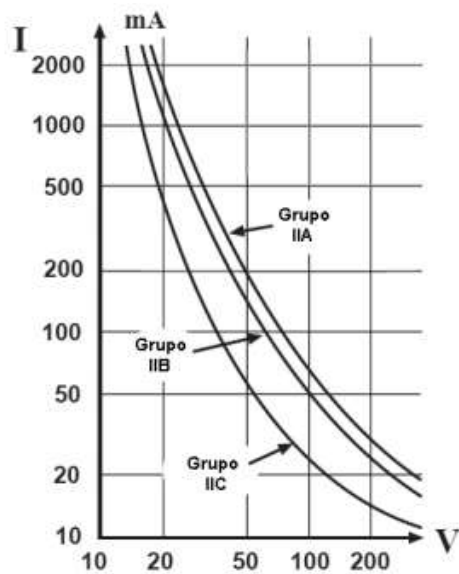


Figura 12 - Limite máximo de potencia en circuitos resistivos.

El límite de energía de encendido se ejemplificará utilizando la energía de conmutación o de contacto de equipos electrónicos.

La figura 13 muestra un dispositivo sin ningún tipo de limitador de energía.

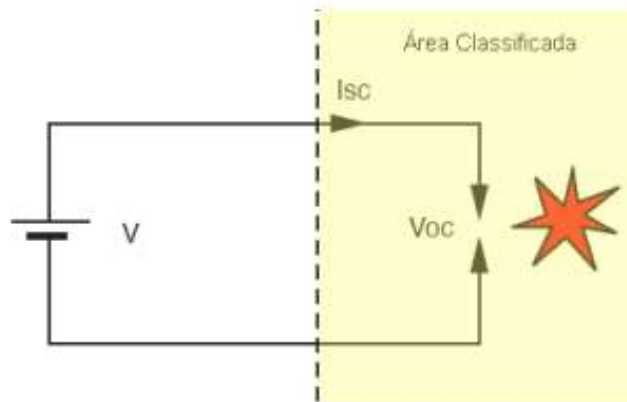


Figura 13 - Circuito sin limitador de potencia.

Los componentes electrónicos se pueden insertar en el circuito para disminuir la energía de ignición del equipo presente en el área peligrosa.

Limitador de Corriente

Se puede colocar una resistencia en el circuito para limitar la corriente eléctrica, como se muestra en la figura 14.

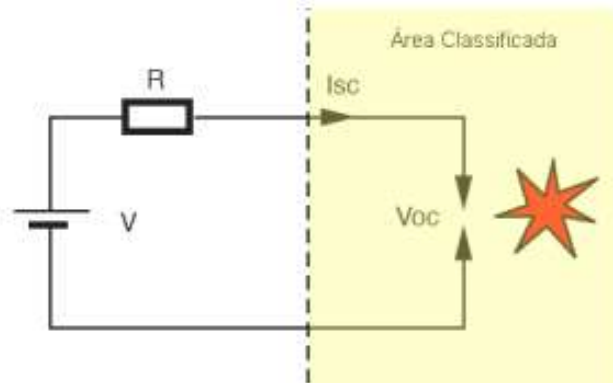


Figura 14 - Circuito con límite de corriente eléctrica.

Este tipo de limitador no es suficiente para sujetar el área.

Limitador de voltaje

El diodo zener se puede utilizar en el circuito para limitar el voltaje de conmutación o contacto del circuito. La figura 15 muestra un circuito con un limitador de corriente y voltaje.

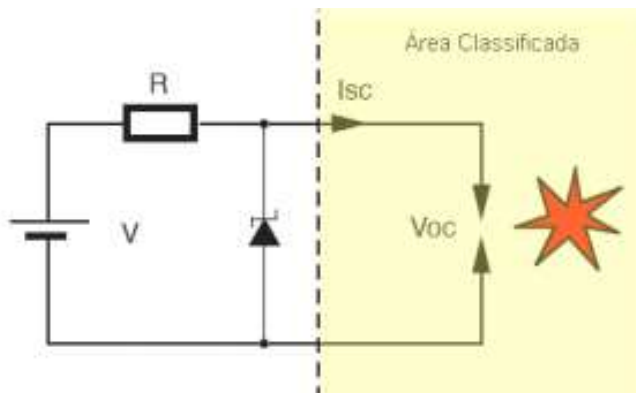


Figura 15 - Circuito con límite de corriente y voltaje.

Almacenamientos de energía

Se pueden colocar condensadores e inductores en el circuito con el fin de almacenar energía para utilizarla en dosis más pequeñas, como se muestra en la figura 16.

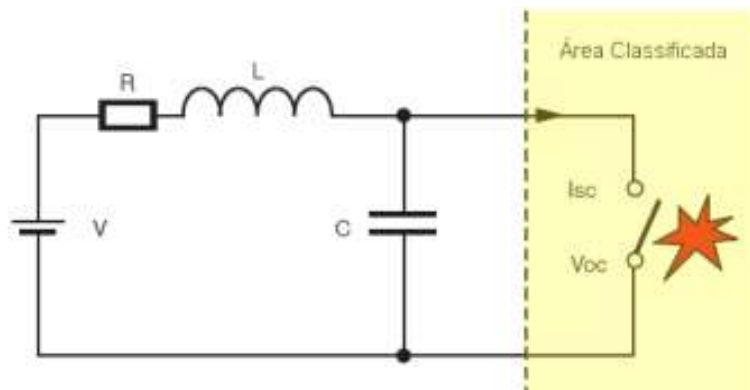


Figura 16 - Circuito con elementos de almacenamiento de energía.

Circuitos a prueba de fallos

El fusible se coloca en el circuito con la función de apertura si la corriente es excesiva. Un diodo defectuoso puede quemarse antes de que se abra el fusible. Para garantizar que el diodo quemado no dañe la seguridad del circuito, se puede colocar otro diodo zener en paralelo. Si un diodo tiene un problema, el otro actuará para limitar el voltaje. Esta protección se denomina barrera zener, como se muestra en la figura 17.

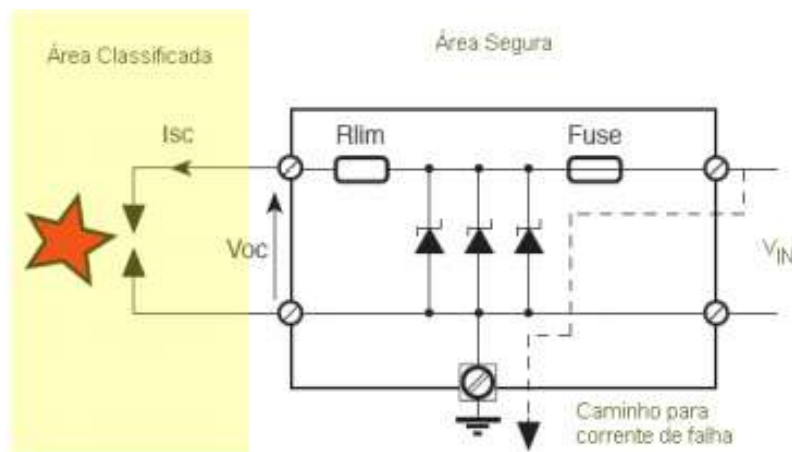


Figura 17 - Barrera Zener.

Resumen

En el cuadro 11 se describe el resumen de los métodos de protección:

Cuadro 11 - Tipos de protección para Ex.

Método de Proteção	Simbologia	Zonas	Normas
À Prova de Explosão	Ex d	1 e 2	NBR 5383 IEC 60079-1
Pressurizado	Ex p	1 e 2	NBR 5420 IEC 60079-2
Encapsulado	Ex m	1 e 2	IEC 60079-15
Imerso em Óleo	Ex o	1 e 2	NBR 8601 IEC 60079-5 IEC 60079-6
Imerso em Areia	Ex q	1 e 2	NBR 8601 IEC 60079-5
Intrinsecamente Seguro	Ex ia	0, 1 e 2	NBR 8447 IEC 60079-11
	Ex ib	1 e 2	
Segurança Aumentada	Ex e	1 e 2	NBR 9883 IEC 60079-7
Não Acendível	Ex n	2	IEC 60079-15
Especial	Ex s	0, 1 e 2 (Depende da Certificação)	

Marcado en equipos Ex

El marcado en el equipo eléctrico debe realizarse en un lugar visible en la parte principal de la carcasa. Se presentarán, de forma resumida, los elementos de un equipo de marcado para atmósferas explosivas según la NBR 9518.

A modo de ejemplo, en la figura 18 se presentará el marcado de un equipo eléctrico antideflagrante que forma parte del Grupo IIC y de la clase de temperatura T3.



Figura 18 - Marcado en Ex.

Mantenimiento e inspección en áreas peligrosas

Las atmósferas explosivas deben cuidarse durante la fase de diseño e instalación, y a lo largo de su vida útil.

Esta norma deja claro que la inspección y el mantenimiento de equipos en áreas peligrosas solo deben ser realizados por personal calificado.

La inspección requiere, además de la calificación, que el personal tenga información detallada sobre el plano de clasificación del área, la clase y grupo de temperatura del equipo, el tipo de protección del equipo y el recorrido de los cables de la instalación.

Hay tres grados de inspección:

- ✓ **Inspección visual (V):** Las no conformidades se detectan sin el uso de herramientas especiales, es decir, solo se observan defectos visibles (ausencia de tornillos, equipos abiertos, carcasas agrietadas, etc.).
- ✓ **Inspección precisa (A):** Además de la inspección visual, se utilizan equipos de acceso, como escaleras o herramientas, para identificar mejor los defectos. En la inspección precisa, no es necesario desenergizar el equipo ni abrirlo.
- ✓ **Inspección detallada (D):** Además de la inspección precisa, identifica defectos internos en el equipo (apertura de la carcasa) y hace uso de herramientas y equipos de prueba. Esta inspección requiere que el equipo esté desenergizado.

Ejemplos de inspección y mantenimiento

Inspección en Instalaciones Ex i

Las inspecciones se realizan en el campo a través de formularios. En el cuadro 12 infra se presenta un ejemplo de formulario.

Verificar se:		Grau de Inspeção		
		D	A	V
A	EQUIPAMENTO			
1	O equipamento está em conformidade com a sua documentação e com a classificação de áreas	X	X	X
2	O equipamento instalado é o especificado na documentação (somente equipamentos fixos)	X	X	
3	A categoria e grupo do equipamento e/ou circuito estão corretos	X	X	
4	A classe de temperatura do equipamento está correta	X	X	
5	A instalação está claramente marcada	X	X	
6	Não há modificações não-autorizadas	X		
7	Não há modificações não-autorizadas visíveis		X	X
8	As unidades de barreira de segurança, os relés e outros dispositivos limitadores de energia são do tipo aprovados, instalados de acordo com os requisitos da certificação e firmemente aterrados onde necessário	X	X	X
9	As conexões elétricas estão apertadas	X		
10	Placas de circuito impresso estão limpas e não danificadas	X		
B	INSTALAÇÃO			
1	Os cabos estão instalados de acordo com a documentação	X		
2	A blindagem dos cabos está aterrada de acordo com a documentação	X		
3	Não há danos evidentes nos cabos	X	X	X
4	A selagem de eletrodutos, dutos e elementos de passagem está satisfatória	X	X	X
5	Todas as conexões ponto-a-ponto estão corretas	X		
6	A continuidade de aterramento está satisfatória (por exemplo, as conexões estão apertadas e os condutores têm seção adequada)	X		
7	As conexões de aterramento mantêm a integridade do tipo de proteção	X	X	X
8	O circuito de segurança intrínseca está isolado da terra ou aterrado em somente um ponto (referir a documentação)	X		
9	Está mantida a separação entre os circuitos intrinsecamente seguros e os circuitos não intrinsecamente seguros em caixas de distribuição ou painel de relés	X		
10	Onde aplicável, a proteção contra curto-circuito da fonte de suprimento está de acordo com a documentação	X		
11	As condições especiais de uso (se aplicáveis) estão conformes	X		
12	Os cabos que não estão em uso estão com os terminais adequadamente isolados	X	X	X
C	AMBIENTE			
1	O equipamento está adequadamente protegido contra corrosão, intempérie, vibração e outros fatores adversos	X	X	X
2	Não há acúmulo indevido de poeira ou sujeira	X	X	X

Motores Trifásicos

Los motores son muy utilizados en la industria, por lo que se utilizará el ejemplo de este tema. Antes de presentar las rutinas de mantenimiento para motores trifásicos, es importante recordar las partes que componen un motor.

Las figuras 19 y 20 muestran las partes constituyentes de un motor trifásico.

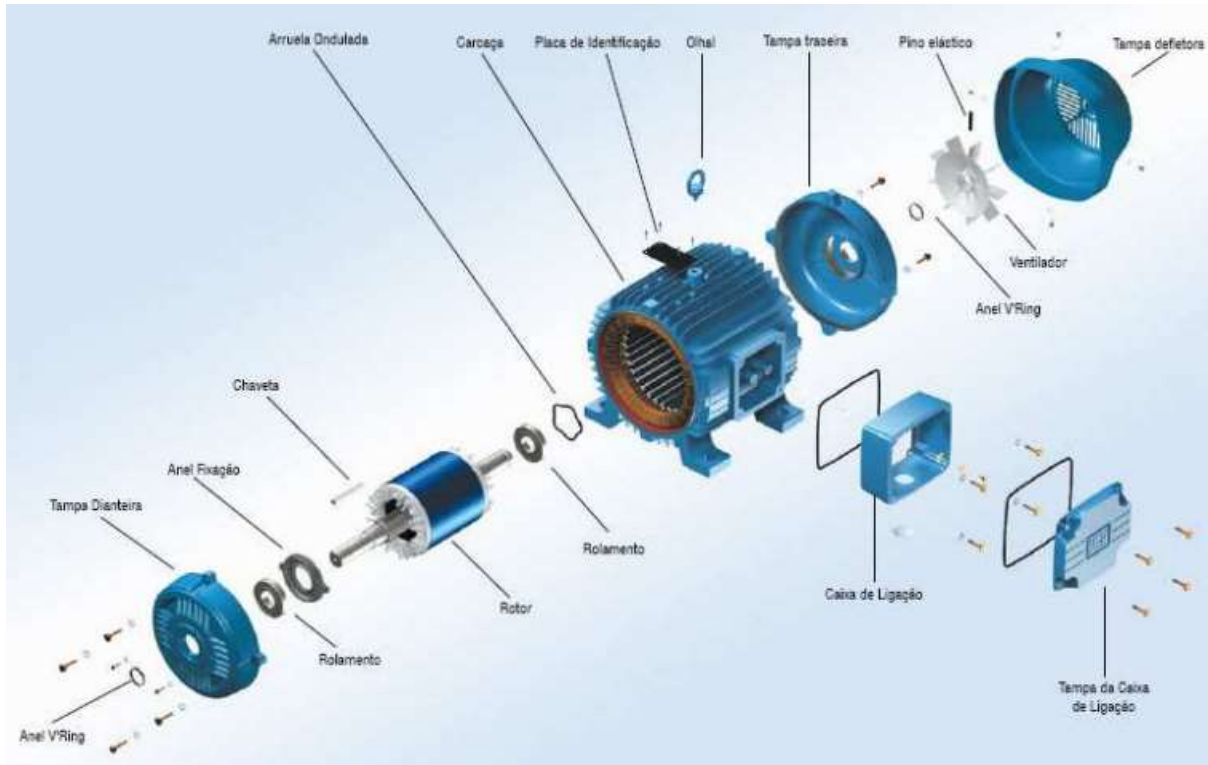


Figura 19 - Motor Trifásico Desmontado.



Figura 20 - Motor Trifásico

La figura 20 muestra:

- 1 - Canal;
- 2 - Núcleo de placa (estator);
- 3 - Núcleo de Chapas (Rotor);
- 4 - Tapa;
- 5 - Ventilador;
- 6 - Cubierta del deflector;
- 7 - Eje (rotor);
- 8 - Bobinado trifásico (estator);
- 9 - Caja de conexión;
- 10 - Terminales;
- 11 - Rodamientos;
- 12 - Barras y anillos de cortocircuito (rotor).

Los motores eléctricos industriales, como cualquier otro motor, pueden tener diversos defectos, sin embargo, las piezas dañadas o desgastadas por el uso en motores utilizados en atmósferas explosivas deben ser reemplazadas por piezas originales nuevas. No es aconsejable reparar piezas con grietas, superficies mecanizadas dañadas o roscas defectuosas.

En la Tabla 13 se presenta la rutina de mantenimiento e inspección que debe seguirse en los motores trifásicos utilizados en atmósferas explosivas.

Tabla 13 - Plan de mantenimiento de motores trifásicos.

Periodicidade	Parte do Motor	Serviço
Diária	Motor completo	Inspeccionar o ruído
	Mancais	Controlar o ruído e a vibração
Semanal	Mancais	Reengraxar: respeitar intervalos, conforme placa de lubrificação
	Acoplamento	Após a primeira semana: checar alinhamento e fixação; eventualmente reapertar
	Dispositivo de monitoração	Registrar os valores da medição
	Filtro	Limpe (quando necessário)
Anual (Revisão Completa)	Motor completo	Reapertar parafusos
	Enrolamento do estator e do rotor	Inspeção visual; Medir resistência de isolamento
	Caixa de ligação, aterramentos	Limpar interior da caixa de ligação; Reapertar parafusos
	Acoplamento	Checar o alinhamento; Reapertar os parafusos
	Filtro	Limpe (quando necessário)
Cada 3 anos (Revisão Total)	Motor completo	Desmontar todo o motor; Checar partes e peças
	Enrolamento do estator e do rotor	Limpar; Checar fixação do enrolamento e as estecas; Medir resistência de isolamento
	Mancais	Limpar os mancais e, se necessário, trocar; Inspeccionar casquilho e, se necessário, substituir; Inspeccionar acento do eixo e, se possível, recuperar
	Caixa de ligação, aterramentos	Limpar seu interior; Reapertar parafusos
	Acoplamento	Checar o alinhamento e reapertar os parafusos
	Dispositivos de monitoração	Se possível, desmontar e testar sua capacidade de funcionamento
	Filtro	Limpar
	Trocador de calor ar-ar	Limpar os tubos do trocador

Referencias

1. JORDÃO, Dácio M. Manual de Instalaciones Eléctricas en Industrias Químicas, Petroquímica y Petróleo. Río de Janeiro. Qualitymark, 2002.
2. OLIVEIRA, Adalberto Luiz de Lima; Fundamentos y principios de la seguridad intrínseca. Apostilla: SENAI/CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). Espírito Santo, 1999.
3. Atmosferas Explosivas. Guia: Nutsteel.
4. Equipos para ambientes explosivos. Guía: Asco Joucomatic.
5. Información técnica Zonas explosivas. Guía: Maccomevap.
6. Manual Básico Ex. Catálogo: Blinda.
7. Motores eléctricos trifásicos para atmósferas explosivas (baja y alta tensión). Manual Instalación y Mantenimiento: WEG.
8. IEC 60079-10 – Clasificación de áreas peligrosas.
9. NBR 5363 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – Recintos impermeables Explosión – Tipo de protección "D" – Especificación.
10. NBR 5418 – Instalaciones eléctricas en atmósferas explosivas – procedimiento.
11. NBR 6146 – Envoltentes de equipos eléctricos – protección – especificación.
12. NBR 8447 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – seguridad intrínseca – tipo protección "I" – Especificación.
13. NBR 8601 – Equipos eléctricos sumergidos en aceite para atmósferas explosivas – especificación.



14. NBR 9518 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – requisitos generales.
15. NBR 9883 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – mayor seguridad – Tipo de protección "E" – especificación.
16. NBR 54230 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – recintos con Presurización o dilución continua – tipo de protección "P" – Especificación.
17. NBR IEC 60079-17 – Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en áreas peligrosas (excepto minas).
18. NM-IEC 60050-426 – Equipos eléctricos para atmósferas explosivas – terminología.
19. Cuaderno de Trabajo PROMINP – Instrumentista Reparador – Áreas Clasificadas.
20. Buffon, Lucas – Estudio de la adecuación de un área clasificada a la norma actual - Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul.