



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN CAMPO 4**

**NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES EN EL
DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN
ATMOSFERAS EXPLOSIVAS. APLICACIÓN: ÁREA DE
INYECCIÓN DE GAS PROPELENTE EN AEROSOLES.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

GÓMEZ RIVERA CHRISTIAN

MORALES BAUTISTA SANTOS



ASESOR DE TESIS ING. MARCOS BELISARIO GONZÁLEZ LORIA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Normas nacionales e internacionales en el diseño de instalaciones eléctricas en atmósferas explosivas
Aplicación: Área de inyección de gas propelente en aerosoles

Que presenta el pasante: CHRISTIAN GÓMEZ RIVERA

Con número de cuenta: 41001284-8 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de febrero de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. José Gustavo Orozco Hernández	
VOCAL	Ing. Gabriela López Sánchez	
SECRETARIO	Ing. Marcos Belisario González Loria	
1er. SUPLENTE	Ing. Ángel Isaías Lima Gómez	
2do. SUPLENTE	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Normas nacionales e internacionales en el diseño de instalaciones eléctricas en atmósferas explosivas
Aplicación: Área de inyección de gas propelente en aerosoles

Que presenta el pasante: **SANTOS MORALES BAUTISTA**
Con número de cuenta: **40809211-7** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de Febrero de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. José Gustavo Orozco Hernández	
VOCAL	Ing. Gabriela López Sánchez	
SECRETARIO	Ing. Marcos Belisario González Loria	
1er. SUPLENTE	Ing. Ángel Isaias Lima Gómez	
2do. SUPLENTE	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se la dedico en primer lugar a DIOS por darme la fuerza durante todo el camino.

A mi papa y mama por darme la vida, por todo su amor, comprensión y apoyo.

A mis hermanos por los grandes momentos de vivimos juntos.

A todos mis maestros por su conocimiento y guía.

A mis compañeros de carrera con los que recorrí este camino y quienes se convirtieron en compañeros de lucha.

A mis sinodal por su enorme comprensión y paciencia.

A la UNAM por darme la oportunidad de lograr mis sueños y que se convirtió en mi segundo hogar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA	2
OBJETIVO	3
JUSTIFICACIÓN	4
Equipos eléctricos en Zonas ATEX.	
1.1 Condiciones generales	5
1.2 Clasificación y categorías de equipos eléctricos	6
1.3 EPL (Equipment Protection Levels) como sistema alternativo a los métodos habituales de selección de los materiales “Ex”	6
1.4 Asignación de categoría por zona	7
1.5 Etiquetado de equipos eléctricos en zonas ATEX	8
1.6 Sistemas de Recubrimiento Interior	10
1.7 Algunos Materiales antiexplosivos	10
1.8 Sellos para áreas peligrosas	13
Algunas normas nacionales e internacionales aplicables a instalaciones eléctricas en atmosferas explosivas.	
2.1 Normas en la clasificación de emplazamientos con riesgo de incendio y explosión	15
2.2 Normas oficiales en México	16
2.3 Normas de referencia	17
2.4 Clasificación de áreas peligrosas según las normas del código eléctrico nacional (NEC) artículo 500 y NOM 001-SEDE-2012 artículo 500: Áreas peligrosas (clasificadas) clases I, II y III, divisiones 1 y 2	17
2.4.1 Ambientes Clase I Artículo 500.5 NEC 2014, 500-5 001-SEDE-2012	18
2.4.2 Ambientes clase II, Artículo 500.5 NEC 2014, 500-5 001-SEDE- 2012	20

2.4.3 Ambientes clase III Artículo 500.5 NEC 2014, 500-5 001-SEDE- 2012	21
2.5 Grupos atmosféricos Artículo 500.6 NEC 2014, 500-6 001-SEDE-2012	22
2.6 Clasificación de áreas explosivas según las normas de comisión internacional de electrotecnia (IEC) 60079-10	23
2.6.1 Procedimiento de clasificación de área explosiva (IEC 60079-10)	23
2.6.2 Alcance de la zona	24
2.6.3 Clasificación de zonas peligrosas	25
2.6.3.1 Zona 0 (IEC 60079-10)	25
2.6.3.2 Zona 1 (IEC 60079-10)	25
2.6.3.3 Zona 2 (IEC 60079-10)	26
2.6.3.4 Zona 20 (IEC 60079-10)	26
2.6.3.5 Zona 21 (IEC 60079-10)	26
2.6.3.6 Zona 22 (IEC 60079-10)	26
2.7 Separación mínima entre tubos de gas y canalizaciones eléctricas	27
2.7.1 NOM-004-SEDG	27
2.7.2 NRF-048 PEMEX 2014	27
2.8 Plantas de almacenamiento de combustibles (art. 515 NOM-001-SEDE-2012)	28
2.9 Condiciones básicas de seguridad	28
2.9.1 Instalador fabricante y operador	28
2.10 Electricidad estática en los centros de trabajo-condiciones de seguridad (NOM-022-STPS-2008)	29
 Ignición de gases y riesgos eléctricos	
3.1 Información general a los fenómenos de explosión de gases	30
3.2 Áreas peligrosas (clasificadas) NOM 001-SEDE-2012	33
3.3 Ignición de gases	36
3.4 Fuentes de ignición	37

3.5 Riesgo de ignición electrostática	39
3.6 Fundamentos de electrostática	40
3.7 Parámetros que influyen en la acumulación de carga electrostática en tuberías no conductoras	42
3.8 Protección frente a cargas electrostáticas	43
3.9 Seguridad en manejo de gas propelente	44
3.10 Uso del Diamante de Seguridad en propelentes	46
3.11 Riesgo de explosión o incendio	49
3.12 Riesgos para la salud	51
3.13 Posible futuro de los propelentes	51
3.14 Materiales anti explosión	53
3.15 Condiciones básicas de seguridad	53
3.16 El riesgo eléctrico	55
Generalidades del diseño eléctrico en una planta de inyección de gas propelente en aerosol	
4.1. Dimensiones del lugar contemplado para la instalación	60
4.2 Equipos en ambientes especiales; Atmosfera explosiva	61
4.3 Clasificación de áreas peligrosas	61
4.4 Información necesaria para el diseño del circuito eléctrico	63
4.5 Circuito de fuerza	64
4.6 Circuito derivado de iluminación	70
4.7 Circuito de fuerza e iluminación	76
4.8 Cálculo de capacidad de tableros	78
4.9 Cálculo de protección principal	79
4.10 Cálculo de acometida	79
4.11 Cálculo de acometida por caída de tensión	80
4.12 Cálculo de la tubería para la acometida	80
4.13 Material a utilizar para el diseño de la instalación eléctrica	81
4.14 Sistema de tierra física	82
RESUMEN	87

CONCLUSIONES	88
ANEXOS	91
GLOSARIO	103
BIBLIOGRAFÍA	104

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la aplicación de algunas normas en las instalaciones eléctricas bajo atmósferas explosivas.

Veremos en el capítulo I algunos de los materiales utilizados en zonas con ambientes explosivos además de algunas de sus clasificaciones.

Para el capítulo II encontraremos algunas normas aplicables a los lugares con ambientes explosivos nacionales e internacionales.

En el capítulo III veremos las generalidades de los riesgos de explosión al trabajar en ambientes con atmosfera explosiva.

Para el último capítulo encontramos una aplicación de normas para ambientes clasificados con atmosferas explosiva, además de cálculos eléctricos generales para este tipo de lugares.

Es imperativo que el equipo eléctrico seleccionado sea adecuado, apropiadamente instalado y mantenido, para proteger al personal e instalaciones de la planta. La seguridad en áreas potencialmente explosivas únicamente podrá garantizarse por el trabajo efectuado en conjunto de todas las partes involucradas.

En México La NOM-001-SEDE 2012 de Instalaciones eléctricas, establece las bases para la selección e instalación adecuada de equipo eléctrico en áreas peligrosas como veremos a lo largo de los capítulos; cubre los requisitos para equipo eléctrico, electrónico y alumbrado, para todas las tensiones eléctricas, en áreas donde pueda existir peligro de incendio o explosión debido a gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, polvos combustibles o fibras inflamables dispersas por el aire.

PROBLEMÁTICA

Con la industrialización, aparecen incendios industriales, que rápidamente cobran resonancia por la aparatosidad de algunos de ellos.

En el caso de las industrias ATEX, tanto los elementos involucrados (productos químicos) como la actitud y preparación del personal, hacen que los incendios y explosiones se deban contemplar específicamente.

Cuando la electricidad es vital, de manera que es impensable cualquier actividad sin esta fuente de energía. Existen numerosos procesos industriales, transporte, almacenaje, y numerosas dependencias ubicadas en las empresas, en los que se producen gases o sustancias que, mezcladas con el aire en concentraciones adecuadas, pueden dar lugar a explosiones a partir de un arco eléctrico o elevadas temperaturas.

En el presente trabajo nos ocuparemos exclusivamente de aquellas circunstancias en las que la deflagración puede ocurrir a causa de las instalaciones eléctricas (chispa eléctrica, aumento de temperatura de un elemento electrotécnico), y no a circunstancias de uso indebido o a irresponsabilidad del usuario (cigarros, cerillas, etc.)

Los accidentes en la industria del aerosol pueden causar víctimas, daños materiales, daños al ambiente, pérdida de la información y de valores, sin embargo, todo lo anterior es posible de evitar.

OBJETIVO

Se tiene por objetivo presentar un manual que reúna las generalidades de las instalaciones eléctricas antiexplosivas, así brindar a los trabajadores de la Industria de la construcción un documento eficaz y práctico que exponga los conocimientos y herramientas necesarias para establecer los requisitos esenciales que han de satisfacer los distintos elementos constitutivos de una instalación eléctrica en un emplazamiento peligroso, orientar en materia de prevención; con lo cual, se aspira a contribuir a la disminución de los accidentes laborales en el sector.

JUSTIFICACIÓN

Dado que nuestra actividad profesional se ve directamente relacionada en el campo de la industria de la construcción, instalaciones eléctricas etc., la creciente demanda en estos sectores amerita que se encaminen los esfuerzos en acciones para mejorar procedimientos y prevenir accidentes.

La información es una herramienta fundamental en la adquisición de conocimientos y nuevas actitudes, tendientes a evitar los riesgos existentes en las instalaciones destinadas al sector con atmosferas explosivas.

La importancia del uso de normativas, NOM en México nos permite garantizar las condiciones de trabajo apropiadas durante toda la ejecución de un proyecto, entregando al usuario las instalaciones adecuadas para los procesos que se realizarán, cabe mencionar que las normativas no sólo se aplican al diseño, los operarios y todo personal involucrado debe estar capacitado en el correcto uso de maquinarias, conociendo los procesos y riesgos que se tienen en cada caso particular.

Equipos eléctricos en Zonas ATEX

1.1 Condiciones generales

En la medida de lo posible, los equipos eléctricos se ubicarán en áreas no peligrosas. Si esto no es posible, la instalación se llevará a cabo donde exista menor riesgo.

Los equipos eléctricos se instalarán de acuerdo con las condiciones de su documentación particular, se pondrá especial cuidado en asegurar que las partes recambiables, tales como lámparas, sean del tipo y características asignadas correctas.

Los productos y equipos eléctricos en Zonas ATEX sujetos a la Directiva ATEX se clasifican teniendo en cuenta las zonas en las que pueden ser utilizados. Estos equipos se agrupan en dos grupos, dentro de los cuales hay varias categorías.

1.2 Clasificación y categorías de equipos eléctricos

1. Aparatos Grupo I: Para trabajos en minas o en las instalaciones exteriores donde se puedan producir atmósferas explosivas.

Categoría M1: Nivel de protección muy alto.

Categoría M2: Nivel de protección alto

2. Aparatos Grupo II: Destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas, sea la presencia de gases, vapores inflamables, polvo o fibras combustibles.

Categoría 1: Comprende los aparatos diseñados para poder funcionar dentro de los parámetros operativos fijados por el fabricante y asegurar un nivel de protección muy alto para su uso previsto en emplazamientos donde sea muy probable que se produzcan de forma constante, duradera o frecuente atmósferas explosivas debidas a mezclas de aire con gases, vapores, nieblas o mezclas aire/polvo.

Categoría 2: Comprende los aparatos diseñados para poder funcionar dentro de los parámetros operativos fijados por el fabricante y asegurar un nivel de protección alto para su uso previsto en emplazamientos donde sea probable que se produzcan atmósferas explosivas debidas a mezclas de aire con gases, vapores, nieblas o mezclas aire/polvo.

Categoría 3: Comprende los aparatos diseñados para poder funcionar dentro de los parámetros operativos fijados por el fabricante y asegurar un nivel de protección normal para su uso previsto en emplazamientos donde sea poco probable que se produzcan atmósferas explosivas debidas a mezclas de aire con gases, vapores, nieblas o mezclas aire/polvo, y donde, con arreglo a toda probabilidad, su formación sea infrecuente y su presencia sea de corta duración.

1.3 EPL (Equipment Protection Levels) como sistema alternativo a los métodos habituales de selección de los materiales “Ex”

EPL Ga o EPL Da; Para un material que tiene un “muy alto” nivel de protección, aunque este pueda ser o no, fuente de inflamación en condiciones normales de funcionamiento o durante averías anormales.

EPL Gb o EPL Db; Para un material que tiene un “alto” nivel de protección, aunque este pueda ser o no, fuente de inflamación en condiciones normales de funcionamiento o durante averías previsibles.

EPL Gc o EPL Dc; para un material que tiene un nivel de protección “aumentado”, que no es fuente de inflamación en condiciones normales de funcionamiento y que puede tener algún modo de protección adicional para garantizar que permanece inactivo como fuente de ignición en el caso de sucesos regulares previsibles.

1.4 Asignación de categoría por zona

Según la Zona ATEX de la que se trate, será necesario usar uno u otro nivel de protección.

En la zona 0 o en la zona 20, los aparatos de la categoría 1.

En la zona 1 o en la zona 21, los aparatos de las categorías 1 ó 2.

En la zona 2 o en la zona 22, los aparatos de las categorías 1, 2 ó 3.

Utilizar la categoría de aparatos indicada en cada una de las zonas para las que son apropiados garantiza, por una parte, que dichos equipos eléctricos en zonas ATEX no provocarán atmósfera explosiva y por otra, que no serán fuente de ignición efectiva.

1.5 Etiquetado de equipos eléctricos en zonas ATEX

En el etiquetado de los equipos eléctricos en zonas ATEX es necesario que figure el modo de protección que ofrece a fin de determinar si es apto o no para ser colocado en una zona ATEX. En este sentido, un equipo eléctrico solo será apto para zonas explosivas si está construido teniendo en cuenta alguno de los siguientes modos de protección, el cual debe aparecer identificado en el etiquetado de dicho producto:

d: Envolvente antideflagrante: Los equipos que pueden entrar en contacto con una atmósfera explosiva e inflamarla están encerrados en el interior de una carcasa capaz de resistir la presión producida en la explosión sin deformación permanente. Además, esta carcasa será capaz de evitar la transmisión de la misma hacia el ambiente circundante, ni por sus juntas de unión, ni por otras comunicaciones. Este modo de protección puede utilizarse en zonas clasificadas 1 y 2.

e: Seguridad aumentada. Su diseño impide la generación de chispas que puedan ser fuente de ignición durante su funcionamiento normal, de forma que su diseño impide que las partes en el interior de la envolvente y en la superficie externa de la misma alcancen temperaturas que puedan superar la temperatura de ignición de cualquier atmósfera inflamable que pueda estar presente o que puedan deteriorar los distintos materiales, dando lugar a la aparición otras fuentes de ignición.

i: Seguridad intrínseca. Con este modo de protección se limita la energía a la que se somete al material. Se considera que un aparato o circuito es intrínsecamente seguro cuando no sea capaz cualquier chispa o efecto térmico generado durante el funcionamiento normal o en condiciones de fallos específicas, es incapaz de causar la ignición.

p: Sobrepresión interna. En este modo de protección las máquinas o materiales eléctricos están provistos de una envolvente o instalados en una sala en la que se impide la entrada de los gases o vapores inflamables, manteniendo en su interior aire u otro gas inerte a una presión superior a la de la atmósfera exterior.

o: Inmersión en aceite. Este sistema consiste en proteger el material eléctrico de forma que no puedan inflamarse los gases o vapores inflamables que se hallen por encima del nivel de aceite y en el exterior de la envolvente. Este modo de protección está prácticamente en desuso y solo se utiliza ocasionalmente para transformadores e interruptores de pequeño volumen de aceite.

q: Aislante pulverulento. Las partes bajo tensión del material eléctrico están completamente sumergidas en una masa de aislante pulverulento.

m: Encapsulado. Este modo de protección consiste en la separación de la fuente de ignición de la atmósfera inflamable mediante un sistema consistente en que todas las partes que son capaces de inflamar la mezcla están encerradas en un compuesto, de tal manera que evita la inflamación de la capa de polvo o la mezcla inflamable en condiciones de funcionamiento.

A continuación, observamos los símbolos, diagramas correspondientes a cada clasificación según su modo de protección.

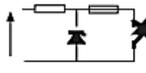
MODO	SÍMBOLO	DIAGRAMA	NORMAS
ENVOLVENTE ANTIDEFLAGRANTE	d		IEC 60079-1 EN 50018
SEGURIDAD AUMENTADA	e		IEC 60079-7 EN 50019
SEGURIDAD INTRÍNSECA	i		IEC 60079-11 EN 50020
INMERSIÓN EN ACEITE	o		IEC 60079-6 EN 50015
RELLENO PULVERULENTO	q		IEC 60079-5 EN 50017
ENCAPSULADO	m		IEC 60079-18 EN 50028
PRESURIZACIÓN	p		IEC 60079-2 EN 50016

Fig. 1.1 Clasificación de equipos según su modo de protección.

1.6 Sistemas de Recubrimiento Interior

I.C.S. son las siglas de Inside Coated System, es decir, Sistemas de Recubrimiento Interior.

Se usan para mejorar la resistencia a la abrasión de algunas piezas, normalmente las más expuestas a desgaste, como codos, entronques y válvulas.

Hay distintas soluciones, desde pinturas anti desgaste, recocidos tipo vitrificado, recubrimientos de teflón, acabados plásticos o acabados cerámicos.

Las principales características de los compuestos ICS son la resistencia química a la corrosión, la baja y constante estabilidad dieléctrica (temperatura y frecuencia), la baja combustión, la gran resistencia a impactos y una alta estabilidad en esfuerzos mecánicos.

1.7 Algunos Materiales antiexplosivos

Están contruidos en aluminio libre de cobre, pintado con pintura electrostática y opcionalmente se encuentra el recubrimiento exterior de PVC e interior de uretano.

Condulets:

Las cajas registro son instaladas en sistemas de tubería para:

- Facilitar el jalado de los conductores durante su instalación.
- Facilitar el realizar empalmes.
- Sirve como caja de montaje y alambrado para luminarias.
- Como conexión para secciones de tubería conduit.
- Para realizar cambios de dirección a 90° en tramos continuos.

- Facilita el acceso a los conductores para realizar mantenimientos o cambios futuros al sistema.

En la figura 1.3 podemos observar algunas de las variaciones de este tipo de cajas.



Fig. 1.2 Variaciones de caja conduit.

Condulet serie cuadrada:

Se utiliza en tubería roscada para facilitar su alambrado, hacer empalmes y derivaciones de los conductores. Permite el montaje de accesorios tales como contactos, interruptores, luces piloto, estaciones de botones y otros. En sus variaciones tenemos las mostradas en la figura 1.4.

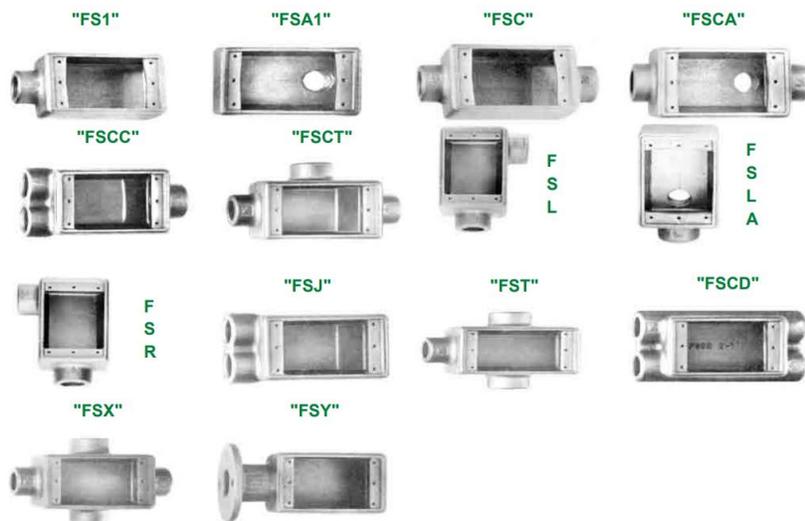


Fig. 1.3 Variaciones de conduit cuadrada.

Tapas para condulet cuadrada:

A continuación, podemos observar en la figura 1.4 variación de tapas para caja condulet cuadrada.



Fig. 1.4 Tapas para condulet cuadrada.

Condulet serie redonda:

Se utiliza en tubería roscada para facilitar su alambrado, hacer empalmes y derivaciones de los conductores. Permite el montaje de accesorios tales como contactos, interruptores, luces piloto, estaciones de botones y otros, para mayor flexibilidad se tienen tapas roscadas. En sus variaciones tenemos las mostradas en la figura 1.5.



Fig. 1.5 Variación de condulet serie redonda.

1.8 Sellos para áreas peligrosas

Los sellos son instalados en todas las tuberías a no más de 47 cm. De cajas de registro que contengan equipos que produzcan arcos o chispas eléctricas en áreas peligrosas Clase I División 1 y 2. En tubos Conduit de 51 mm. o mayores que entren a cajas de conexión conteniendo empalmes o derivaciones de cables y que se encuentren en áreas peligrosas Clase I División 1 y 2.

Los condulets para sellar tubería impiden el paso de los gases de combustión y flamas de una parte de la instalación eléctrica a otra a través del tubo Conduit.

Fabricados en aluminio libre de cobre, acabado con pintura electrostática, como acabado especial se encuentra el forrado exteriormente de PVC y acabado interior de uretano. En la figura 1.6 podemos ver este tipo de condulet donde:

- a) Para sellar tubería vertical.
- b) Para sellar tubería vertical u horizontal.
- c) Para sellar tubería en cualquier ángulo.

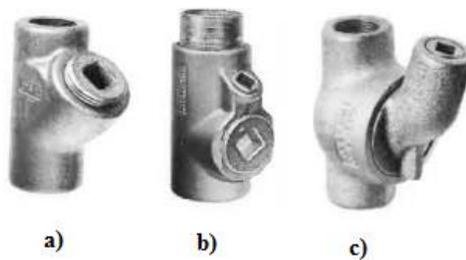


Fig 1.6 Condulet para sellado.

El cemento sellador se usa para impedir el paso de gases, vapores o flamas de una instalación eléctrica a otra de presión atmosférica y temperatura ambiente normales. Al aplicarlo se expande ligeramente formando un sello hermético. Es resistente a solventes ácidos, agua y aceites.

La fibra se utiliza para crear una obstrucción que impide escurrimientos cuando se vierte el cemento en el sello.

En la figura 1.7 podemos observar como quedan el cemento y fibra en las posiciones vertical y horizontal.

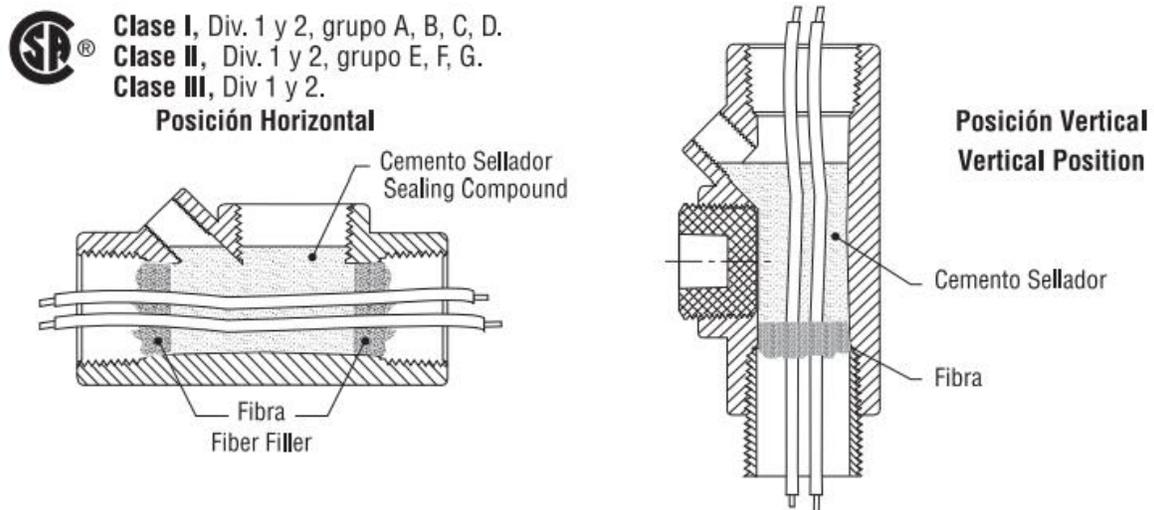


Fig. 1.7 Cemento sellador y fibra en conducto para posición vertical y horizontal.

2 Algunas normas nacionales e internacionales aplicables a instalaciones eléctricas en atmosferas explosivas

2.1 Normas en la clasificación de emplazamientos con riesgo de incendio y explosión

Con el fin de evitar los riesgos derivados del uso de la electricidad en ambientes con atmosferas explosivas, se han desarrollado diferentes técnicas de protección de acuerdo a normas y reglamentos Internacionales.

La Normalización es el proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado como público en materia de salud, medio ambiente, seguridad al usuario, información comercial, prácticas de comercio, industrial y laboral a través de estas se establecen la terminología, clasificación, directrices, especificaciones, atributos, características, métodos de prueba, prescripciones aplicables a un producto, proceso o servicio.

Las principales normas que rigen la clasificación de áreas peligrosas, medidas de seguridad, fabricación de materiales y equipos, para instalaciones eléctricas en atmósferas explosivas, son:

Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC).

Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).

Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI).

Código Eléctrico Nacional (NEC).

NOM establecen regulaciones técnicas que contienen la información, especificaciones, procedimientos, instrumentos de medición y metodologías que deben cumplir los bienes y servicios para comercializarse en México.

CENELEC goza de una estrecha cooperación con su contraparte internacional, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

El objetivo principal de la cooperación CENELEC-IEC es evitar la duplicación de trabajo y reducir el tiempo al preparar las normas.

En todo Estados Unidos y en todo el mundo, NFPA 70® (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego), National Electrical Code® (NEC®), sienta las bases para la seguridad eléctrica en ocupaciones residenciales, comerciales e industriales.

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, más conocido como ANSI (por sus siglas en inglés: American National Standards Institute), es una organización que supervisa la creación, promulgación y uso de miles de normas, estas directrices afectan directamente a las empresas en casi todos los sectores en los Estados Unidos.

2.2 Normas Oficiales en México

En México la normalización se plasma en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de carácter obligatorio, elaboradas por dependencias del Gobierno Federal y las Normas Mexicanas (NMX) de ámbito primordialmente voluntario, promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado, a través de los Organismos Nacionales de Normalización.

Sólo las normas NOM son de uso obligatorio en su alcance. Las normas NMX expresan una recomendación de parámetros o procedimientos, aunque si son mencionadas como parte de una norma NOM, al ser éstas de uso obligatorio, su observancia es obligatoria.

Los dos tipos de normas oficiales mexicanas se identifican por tres letras (NOM o NMX) y tres dígitos según la numeración de la misma.

2.3 Normas de referencia

Con fundamento en el artículo 67 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, las Normas de Referencia son las que elaboran las entidades de la administración pública federal (PEMEX, CFE etc.), en aquellos casos en que las normas mexicanas o internacionales, no cubran sus requerimientos, o bien las especificaciones que se contengan se consideren inaplicables u obsoletas, cuando dichas entidades requieran adquirir, arrendar o contratar bienes o servicios.

Artículo 67 LFMN: Las entidades de la administración pública federal, deberán constituir comités de normalización para la elaboración de las normas de referencia conforme a las cuales adquieran, arrienden o contraten bienes o servicios, cuando las normas mexicanas o internacionales no cubran los requerimientos de las mismas, o bien las especificaciones contenidas en dichas normas se consideren inaplicables u obsoletas.

2.4 Clasificación de áreas peligrosas según las Normas del Código Eléctrico Nacional (NEC) artículo 500 y NOM 001-SEDE-2012 artículo 500: Áreas peligrosas (clasificadas) clases I, II y III, divisiones 1 y 2

Lugares clasificados como peligrosos clase I, II, III, Divisiones 1 y 2.

Se le denomina área clasificada o peligrosa a aquellos lugares donde pueda existir peligro de incendio o explosión. Estos pueden ser aquellas instalaciones donde se manipulen, almacenen o procesen líquidos, gases, vapores, combustibles, polvos o fibras inflamables; La presencia de estos materiales pueden representar una condición de incendio si se exponen a una fuente de ignición.

Los equipos eléctricos deben ser seleccionados e instalados de manera que no provean una fuente de ignición.

Generalmente, se requieren diferentes normas para clasificar las áreas.

La clasificación de Áreas Peligrosas está basada en la naturaleza de los materiales que están o pueden estar presentes.

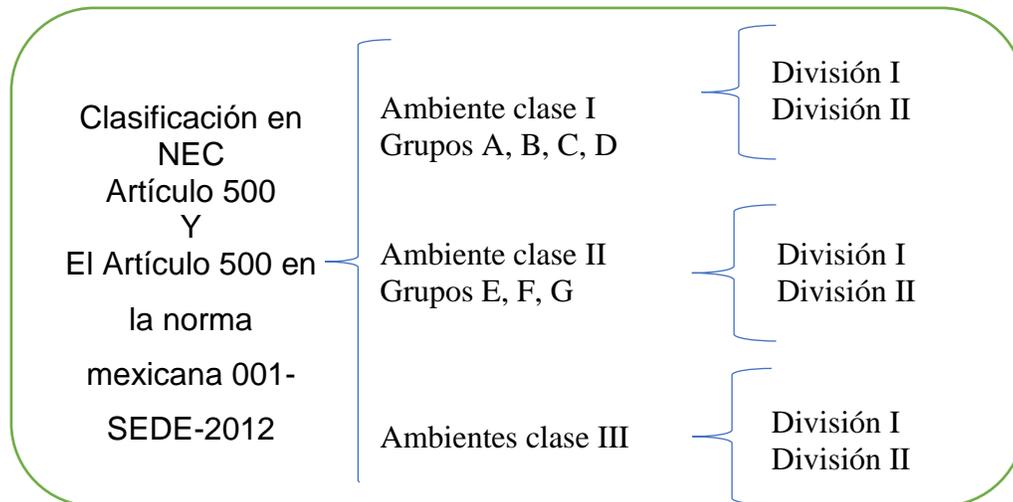


Fig. 2.1 Clasificación general de áreas peligrosas, Artículo 500 NEC 2014 y Artículo 500 norma mexicana 001-SEDE-2012.

2.4.1 Ambientes Clase I Artículo 500-5 NOM 001-SEDE-2012

Son aquellos lugares en los que el aire contiene o puede contener gases o vapores en cantidades, que puedan producir mezclas inflamables o explosivas (acetileno, hidrógeno, éter etílico, gasolina, butano, gas natural).

División I

Características:

- Lugar en el cual, en condiciones normales de funcionamiento, existen concentraciones peligrosas de gases y vapores.

- b) Lugar en el cual, dichas concentraciones pueden existir debido a reparaciones.
- c) Lugar en el cual pueden liberarse gases o vapores en concentraciones peligrosas debido a fallas en los equipos y procesos, que a su vez generen fallas en sistemas eléctricos de manera que este se convierta en fuente de ignición.

Los lugares Clase I, División I son aquellos en los que se vierten de un contenedor a otro líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables. Tales como los lugares en operación de pintado o rociado con líquidos volátiles, salas de bombeo de gases inflamables entre otros.

División II

Características:

- a) Lugar en el cual se usan, procesan o manufacturan líquidos volátiles y gases o vapores inflamables, pero estos se encuentran en contenedores o sistemas cerrados, a los cuales solo se les puede acceder por fugas, roturas, o averías en dichos contenedores.
- b) Lugar en el cual las concentraciones inflamables en el ambiente se ventilan de manera forzada por mecanismos, los cuales en mal funcionamiento representan riesgo.
- c) Lugar el cual está en áreas cercanas a los de Clase I División I, en los cuales puede introducirse vapores o gases inflamables, a menos que se ventile mediante sistemas de presión pasiva.

Los lugares Clase I, División II son usualmente aquellos en los que se usan líquidos volátiles, gases y vapores inflamables que solo genere riesgos en caso de averías, accidentes, fallas en los sistemas o instalaciones.

2.4.2 Ambientes clase II, Artículo 500-5 NOM 001-SEDE-2012

Son aquellos lugares en los cuales debido a operaciones normales se acumule el polvo combustible en el ambiente en cantidades que puedan producir ignición.

División I

Características:

- a) Lugar en el cual, de manera normal habrá presencia de polvo combustible en el ambiente con la capacidad de generar ignición.
- b) Lugar en el cual, por falla mecánica o mal funcionamiento de máquinas o equipos, puede llegar a producirse mezclas explosivas.
- c) Lugar en el cual, puede haber polvo conductor de electricidad.

La clase II División I comprende todo lugar o depósito donde en condiciones normales de funcionamiento existe en el aire polvo que produzca mezcla inflamable o explosiva; Los polvos no conductores de la electricidad, pero combustibles son los producidos en la manipulación de granos, molienda del cacao, azúcar y toda materia orgánica que pueda producir polvos combustibles.

Los polvos muy peligrosos son conductores de electricidad.

División II

Características:

- a) Lugar en el cual, los polvos combustibles debido a operaciones anormales pueden estar presentes en el aire en cantidades que puedan causar mezclas explosivas o inflamables.

- b) Lugar en el cual, hay acumulación de polvo, pero es insuficiente para afectar el funcionamiento de equipos eléctricos u otros aparatos, pero puede haber polvo debido a fallas de los equipos.
- c) Lugar en el cual, la acumulación de polvo puede interferir con la correcta disipación de calor en equipos o puede ser inflamable por el mal funcionamiento de equipos eléctricos.

2.4.3 Ambientes clase III Artículo 500-5 NOM 001-SEDE-2012

Son aquellos lugares en los que el aire se presenta en suspensión, fibras y volátiles fácilmente inflamables, pero no en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas o inflamables.

División I

Características:

- a) Lugar en el cual, se emplean o fabrican fibras de fácil inflamabilidad y materiales productores de combustibles volátiles. Esta división incluye fábricas de tejido, algodón, textiles, carpinterías, fábricas para tratado de telas, etc., en general, fábricas que procesen fibras volátiles y fácilmente inflamables.

División II

Características:

- a) Lugares en los cuales se almacenan o manipulan fibras o partículas de fácil inflamabilidad, pero no están el proceso de fabricación.

2.5 Grupos atmosféricos Artículo 500-6 NOM 001-SEDE-2012

Se han definido y agrupado mezclas atmosféricas según su peligrosidad acorde al material específico involucrado.

Clase I

- 1) Grupo A: Atmósferas que contengan acetileno.
- 2) Grupo B: Atmósferas que contengan hidrógeno, o combustibles con gases con 30% o más de hidrógeno en volumen y poseen un valor MIC \leq .40 y MSEG \leq .45.

MIC Razón de corriente de ignición mínima.

MSEG Separación de seguridad experimental máxima.

- 3) Grupo C: Atmósferas con gases inflamables como éter etílico, etileno u otros gases o vapores de riesgo equivalente. Con $0.8 > \text{MIC} > 0.4$ y $0.75 > \text{MSEG} > 0.45$.
- 4) Grupo D: Atmósferas con gases como acetona, amoníaco, benceno, butano, etanol, gasolina, hexano, metanol, metano, gas natural, nafta, propano, gases o vapores de riesgo equivalente. MIC > 0.8 y MSEG > 0.75 .

Clase II

- 5) Grupo E: atmósferas que contengan polvos metálicos combustibles, como de aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales u otros polvos combustibles de partículas cuyo tamaño, abrasividad y conductividad presenten riesgos similares con el uso de equipos eléctricos.
- 6) Grupo F: Lo conforman atmósferas que contienen polvo de carbón con material volátil atrapado en un porcentaje mayor al 8% del volumen. Como carbón vegetal.
- 7) Grupo G: atmósferas que contengan polvos combustibles no incluidos en los Grupos E o F como: harina, cereales, serrín de plástico u otros productos químicos.

2.6 Clasificación de áreas explosivas según las normas de Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC) 60079-10

La clasificación por zonas proporciona métodos alternativos de protección no reconocidos bajo la clasificación por Divisiones.

La Norma IEC 60079 indica la clasificación de las zonas y tiene como objetivo principal determinar y delimitar las áreas en que se pueden formar atmósferas explosivas, con el fin de permitir la adecuada selección e instalación de aparatos para uso en estas áreas.

2.6.1 Procedimiento de clasificación de área explosiva (IEC 60079-10)

Podemos definir la clasificación de los lugares como un método para analizar y clasificar el ambiente en el que pueden formarse atmósferas explosivas por la presencia de gases y/o polvos combustibles, para facilitar la selección e instalación correctas de equipos y materiales que deben utilizarse en dicho ambiente a fin de evitar riesgos que puedan causar una explosión que ponga en peligro la vida humana y los bienes.

Para realizar la clasificación de zonas es necesario:

Eliminar la fuente ATEX;

Antes de comenzar a realizar una clasificación de zonas se debe analizar si es posible eliminar la fuente de origen de gas inflamable a través de un diseño de la instalación o la posible sustitución de un producto o sustancia peligrosa por otra. Si se consigue que no exista fuentes de escape o cuando el producto no es peligroso, la zona será no

peligrosa, sin duda la mejor seguridad. Cuando no es posible eliminar el origen de la atmósfera peligrosa, se debe clasificar las zonas.

Eliminación de fuentes de ignición.

Si la formación de la atmósfera peligrosa no puede impedirse, una vez clasificada la zona, se debe intentar eliminar de la zona peligrosa las fuentes de ignición, como por ejemplo instalaciones eléctricas, luminarias, interruptores, etc.

Probabilidad aceptable. Cuando no se pueden eliminar las fuentes de escape o las fuentes de ignición según los apartados anteriores la seguridad debe basarse en la baja probabilidad de que coincida la fuente de ignición con la atmósfera explosiva. Esto se consigue eligiendo el material eléctrico y no eléctrico en función de la clasificación de zonas, los cuales deben cumplir unas prescripciones de seguridad adecuadas al entorno donde se ubiquen

2.6.2 Alcance de la zona

Si los equipos de proceso o de almacenamiento contienen sustancias inflamables, se debe determinar si éstos contienen mayor cantidad de sustancias inflamables que el mínimo especificado, si es así se debe efectuar el proceso de clasificación de las zonas.

La extensión de la zona dependerá de la distancia estimada o calculada de la atmósfera explosiva.

La ventilación del lugar es un factor importante en el establecimiento, tanto del tipo como de la extensión de una zona, puesto que conjuntamente con las características del escape, nos determinará la frecuencia, duración y extensión del área donde la concentración de gas o vapor está dentro del rango de explosividad.

Los gases, vapores o nieblas inflamables escapados a la atmósfera se diluyen con el aire de tal forma que la concentración de estos variará inversamente proporcional con la distancia a la fuente de escape. La extensión de una zona vendrá determinada por el volumen donde la concentración de gases, vapores o nieblas inflamables en la atmósfera sea superior al LIE (límite inferior de explosividad).

2.6.3 Clasificación de zonas peligrosas

La IEC 60079-10, define tres zonas para la clasificación de áreas peligrosas con gases y tres zonas para polvos, con base en la frecuencia de la ocurrencia de una atmósfera explosiva de la siguiente manera:

2.6.3.1 Zona 0 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual existe peligro de explosión debido a la presencia continua o durante largos periodos de tiempo, una mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

2.6.3.2 Zona 1 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual, de manera particular en el proceso o instalación, en condiciones normales, se forme una atmósfera explosiva a partir de una mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

2.6.3.3 Zona 2 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual no está presente, en condiciones normales, una atmósfera explosiva a partir de una mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla; en caso de ocurrir, solo raramente y por poco tiempo.

2.6.3.4 Zona 20 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual permanentemente o por tiempos prolongados, en condiciones normales, se forme una atmósfera con peligro de explosión debido a la presencia de una nube de polvo inflamable en el aire.

2.6.3.5 Zona 21 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual ocasionalmente, en condiciones normales, se forme una atmósfera con peligro de explosión debido a la presencia de una nube de polvo inflamable en el aire.

2.6.3.6 Zona 22 (IEC 60079-10)

Lugar en el cual no está presente, en condiciones normales, una atmósfera con peligro de explosión a partir de una nube de polvo inflamable en el aire; en caso de ocurrir, permanece por un breve periodo de tiempo.

2.7 Separación mínima entre tubos de gas y canalizaciones eléctricas

La norma NOM 001 SEDE 2012 y el NEC no establecen separación mínima entre estas instalaciones. Por otra parte, la norma de referencia NRF-048 PEMEX 2014 diseño de instalaciones eléctricas y (NOM-004-SEDG) marcan distancias mínimas entre tuberías eléctricas y materiales combustibles.

2.7.1 NOM-004-SEDG

Separación entre tuberías de conductores eléctricos y tuberías de gas L.P.

Las tuberías deben quedar separadas 10 cm como mínimo de conductores eléctricos cuya tensión nominal sea menor o igual a 127 V.

Para los conductores eléctricos cuya tensión nominal sea mayor a 127 V y estén contenidos dentro de canalizaciones o ductos, la separación mínima debe ser de 20 cm.

Para los conductores eléctricos cuya tensión nominal sea mayor a 127 V y no estén contenidos dentro de canalizaciones o ductos, la separación mínima debe de ser 50 cm.

2.7.2 NRF-048 PEMEX 2014

La norma de referencia establece distancias entre el centro del tubo y el límite del banco de ductos en instalaciones subterráneas. Esto puede interpretarse a los tubos de instalaciones ajenas (gas o gasolina).

2.8 Plantas de almacenamiento de combustibles artículo 515 NOM-001-SEDE-2012

Una planta de almacenamiento es un lugar donde se reciben líquidos inflamables de buques-tanques, ductos, camiones cisterna o vagones cisterna donde estos líquidos se almacenan con el fin de distribuirlos por los mismos medios; dichas áreas deben clasificarse, todo alambrado y equipo eléctrico en áreas Clase I deben cumplir con las disposiciones aplicables.

2.9 Condiciones básicas de seguridad

En función del tipo de actividad, se debe tomar medidas para impedir la formación de atmósferas explosivas o cuando la naturaleza de la actividad no lo permita, evitar la ignición de atmósferas explosivas, la seguridad en áreas potencialmente explosivas, únicamente podrá garantizarse por el trabajo efectivo en conjunto de todas las partes involucradas, con esto garantizar la integridad de las personas y equipos involucrados. Siguiendo un orden de prioridades y conforme a los principios básicos siguientes: de forma que se garantice la salud y la seguridad de los trabajadores.

2.9.1 Instalador fabricante y operador.

El operador es responsable por la seguridad de su equipo. Es su deber juzgar cuando existe un peligro de explosión y de allí, dividir el área en zonas o divisiones según NOM 001-SEDE-2012 o las normas y reglamentos que apliquen en su diseño, dependiendo del nivel de riesgo establecido.

Debe asegurar que el equipo se encuentra instalado de acuerdo a las regulaciones y que ha sido probado antes de su uso inicial. El equipo deberá mantenerse en buen estado mediante inspecciones y mantenimiento regulares.

Los instaladores deben observar los requerimientos de instalación y realizar la correcta instalación del aparato para su uso predeterminado.

Los fabricantes de los aparatos protegidos contra explosiones son responsables de las pruebas de rutina, certificación de los mismos, documentación, es necesario que cada equipo manufacturado cumpla con las pruebas determinadas en normativas como: NEC artículo 500, IEC 79-10 y NOM 001-SEDE-2012 MX.

2.10 Electricidad estática en los centros de trabajo-condiciones de seguridad NOM-022-STPS-2008

La acumulación o generación de electricidad estática o descargas atmosféricas puede presentarse en tuberías metálicas aéreas donde transporten sustancias inflamables, partes sueltas metálicas, equipos utilizados en trasvase de sustancias inflamables entre otras.

Con la finalidad de prevenir riesgos, se establecen condiciones de seguridad en todos los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables explosivas y en aquellos que, por la naturaleza de su proceso, sean capaces de almacenar o generar cargas electrostáticas.

La determinación de los sistemas, dispositivos o equipos para controlar (capturar, disipar, drenar, neutralizar) la acumulación de cargas eléctricas estáticas, está en función de las condiciones de seguridad que se establezcan para los procesos y procedimientos del centro de trabajo.

Los dictámenes que emita la unidad de verificación de las condiciones de seguridad para el funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra y en su caso, en las condiciones de seguridad de los sistemas de pararrayos, serán reconocidos por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

3. Ignición de gases y riesgos eléctricos

3.1 Información general a los fenómenos de explosión de gases

Una gran variedad de procesos y aplicaciones, implica el uso y la fabricación de sustancias altamente peligrosas, especialmente gases inflamables, tóxicos y oxígeno, este último como elemento comburente. Inevitablemente se producen escapes de gas ocasionales que representan un peligro potencial para la industria, personal y población cercana.

Los gases pueden ser más ligeros, más pesados o tener la misma densidad que el aire, también pueden tener olor o ser inodoros, además pueden tener color o ser incoloros. El que no se puedan ver, oler ni tocar no significa que no estén ahí.

Existen tres principales riesgos relacionados con el gas:

- 1) Inflamable: presenta riesgo de incendio y/o explosión por mencionar algunos ejemplos se tiene el metano, butano y propano.

Pudiendo producirse la ignición por fallas eléctricas en el sistema, teniendo como posibles causas las siguientes:

- Errores en el diseño.
- Ejecución de instalaciones defectuosas.
- Deficiente calidad de materiales o mal dimensionados.
- Sobrecargas producidas a causa de ampliaciones de potencia sin modificar las instalaciones ya existentes.
- Problemas de electricidad estática a no haberse establecido medidas para su prevención, o bien realizar una descarga controlada.

- 2) Tóxico: presenta riesgo de envenenamiento en este caso se tiene monóxido de carbono, hidrógeno y cloro.
- 3) Asfixiante: presenta riesgo de asfixia por ejemplo la carencia de oxígeno, el oxígeno se puede consumir o reemplazar por otro gas.

Aun realizando las instalaciones eléctricas de manera adecuada, en la industria ATEX que utiliza algún tipo de gas inflamable utiliza sistemas adicionales como prevención, como los detectores de gas. Estos dispositivos ayudan a conseguir más tiempo, que se puede emplear en tomar acciones correctivas o protectoras.

También se pueden usar como parte de un sistema de seguridad y de supervisión total e integrada que incluya varios otros aspectos, como la detección de incendios y el cierre de procesos de emergencia.

La detección de gas se divide en dos categorías:

- Fija.
- Portátil.

La detección fija de gas representa un sistema estático de detección de riesgos debido a gases inflamables, gases tóxicos y oxígeno, está diseñado para supervisar procesos, proteger la planta y recursos, así como el personal en sitio.

La detección de gas portátil ha sido diseñada concretamente para proteger al personal de riesgos derivados de los gases tóxicos, inflamables y oxígeno, suele tratarse de un dispositivo pequeño que lleva puesto el operario para supervisar la zona de respiración. Muchos sitios incorporan una mezcla de detección portátil y fija de gas como parte de su filosofía de seguridad, pero la idoneidad de que tipo usar dependerá de diferentes factores como, por ejemplo, cada cuando accede el personal del área.

La combustión es una reacción química bastante sencilla en la que el oxígeno, combinándose rápidamente con otra sustancia, produce una liberación de energía.

Esta energía aparece principalmente como calor, a veces en la forma de llamas. La sustancia de ignición es normalmente, aunque no siempre, un componente de hidrocarburo y puede ser sólido, líquido, vapor o gas.

El proceso de combustión se puede representar con el conocido Triángulo del fuego que muestra los tres factores que provocan la combustión (véase figura 3.1):

Definimos fuego como la oxidación rápida de los materiales combustibles con desprendimiento de luz y calor. Este fenómeno consiste en una reacción química de transferencia electrónica, con una alta velocidad de reacción y con liberación de luz y calor.

Los elementos necesarios para que se produzca la combustión son:

- Fuente de ignición.
- Oxígeno.
- Combustible en forma de gas o vapor.



Fig. 3.1 Triángulo del fuego.

El triángulo del fuego es de gran utilidad para explicar cómo podemos extinguir un fuego eliminando uno de los lados del triángulo.

Si eliminamos de la combustión cualquiera de los lados del triángulo el fuego se apagará.

3.2 Áreas peligrosas (clasificadas) NOM 001-SEDE-2012

Área o ambiente peligroso: Se define como Ambiente Peligroso a aquel sector, que por la composición de su atmósfera puede producir daños o deterioros en el funcionamiento del equipo eléctrico, por ignición o explosión de gases, vapores, líquidos, fibras y/o polvos, o por ataques de sustancias químicas o propagación de fuego y por los mismos motivos al ambiente que rodea a dichos equipos.

Es evidente el riesgo de incendio y explosión existente en emplazamientos donde existen atmósferas explosivas, es por ello necesario evitar en lo posible la presencia de todo tipo de focos de ignición en general, incluyendo los de naturaleza eléctrica, en base al NEC y NOM.

Si tenemos el propósito de seleccionar el equipamiento para un proceso cualquiera uno de los parámetros más importantes es determinar las características del área en la cual finalmente operara la instrumentación seleccionada. Debido a la diversidad de procesos, estas áreas pueden ser de diferentes tipos donde pueden existir atmósferas de gases o vapores inflamables, por lo que es necesario definir una clasificación de las mismas.

Se consideran las áreas de la siguiente manera

- Clase I Gases, vapores y nieblas.
- Clase II Polvos.
- Clase III Fibras.

CLASE I: Ambientes en que están presentes gases o vapores inflamables en cantidad suficiente como para producir mezclas explosivas o inflamables. Esta comprende las siguientes subdivisiones:

DIVISIÓN 1: Donde existen en forma continua, intermitente o periódica concentraciones peligrosas de gases o vapores inflamables.

DIVISIÓN 2: Donde se manufacturan líquidos volátiles, vapores o gases inflamables; cuando los mismos se encuentran en recipientes o cañerías cerradas y en vecindades de los ambientes de la DIVISIÓN 1.

Clase II: Ambientes en que la presencia de polvo en suspensión puede producir ignición o explosión, comprende las siguientes subdivisiones:

DIVISIÓN 1: Donde existen en forma continua, intermitente o periódica polvo combustible en cantidad suficiente como para producir mezclas inflamables o explosivas.

DIVISIÓN 2: Lugares donde el polvo combustible no está presente en suspensión en el aire en forma normal, pero puede impedir la disipación de calor del equipo eléctrico o puede depositarse sobre o en el interior del mismo.

Clase III: Ambientes de atmosfera peligrosa debido a la presencia de fibras volátiles y/o inflamables, pero en los cuales no es probable que dichas fibras volátiles se hallen en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables, comprende las siguientes subdivisiones:

DIVISIÓN 1: Lugares en que se manipulan, fabrican o emplean fibras fácilmente inflamables.

DIVISIÓN 2: Lugares donde se manipulan o almacenan fibras fácilmente inflamables, excepto en proceso de fabricación.

Estos ambientes pueden ser hallados a su vez en diferentes sectores industriales por citar algunos ejemplos:

La industria del petróleo y gas: Esta engloba un gran número de actividades de producción, desde la exploración, explotación, transporte y almacenamiento en tierra y mar. Los gases hidrocarburos implicados suponen un serio peligro de explosión y, además a menudo están presentes gases como el sulfuro de hidrógeno, metano, monóxido de carbono, etc.

Plantas químicas: Fabrican una multitud de productos y materias primas. La naturaleza y diversidad de productos químicos, usados y producidos en el emplazamiento, presenta un peligro considerable para los bienes y personal. Estas plantas suelen utilizar una amplia gama de gases tóxicos e inflamables en los procesos de fabricación.

Plantas generadoras de energía: Los combustibles fósiles tradicionales (como son el carbón, petróleo y gas natural) han servido para generar electricidad. Hoy las energías renovables se están convirtiendo en un aspecto clave de la generación de energía, mientras que la energía eólica y el biogás son fuentes de energía cada vez más corrientes. Las áreas de peligro se encuentran alrededor de los tubos de las calderas y generadores, trabajos en las proximidades de tuberías de gas, los gases típicos en este tipo de plantas son gas natural, hidrogeno, monóxido de carbono, óxido de azufre entre otros.

Siderurgia: El elevado número de hornos y procesos que aplican calor extremo a los metales en toda la planta siderúrgica significa que la detección del monóxido de carbono es algo esencial.

Minería: Hay una gran cantidad de reservas de combustible fósil y mineral que se explotan en todo el mundo, poniendo al personal en riesgo al estar expuesto a acumulaciones de gases peligrosos en los espacios cerrados de los pozos de minas. Esto convierte a los sistemas portátiles de detección de gas en un componente esencial para la seguridad.

3.3 Ignición de gases

Es evidente el riesgo de incendio y explosión en lugares donde existen atmósferas explosivas, es por ello necesario evitar en lo posible la presencia de todo tipo de focos de ignición en general, incluyendo los de naturaleza eléctrica que son los más comunes.

Temperatura de ignición: Los gases inflamables también tienen una temperatura en la que tendrá lugar la ignición, incluso cuando no exista una fuente externa como una llama o chispa. A esta se le llama temperatura de ignición.

La temperatura de la superficie de los aparatos que se usen en una zona peligrosa no debe superar la temperatura de ignición. Por tanto, el equipo de seguridad debe estar marcado con una temperatura de superficie máxima o un número de identificación.

Punto de inflamación (P.I. °C).

El punto de inflamación de un líquido inflamable es la menor temperatura en la que la superficie del líquido emite suficiente vapor para que se encienda con una pequeña llama. No lo confunda con la temperatura de ignición, debido a que las dos pueden ser muy diferentes como se muestra en la siguiente tabla (figura 3.2).

GAS/VAPOR	Punto de Inflamación °C	Temp. de ignición °C
METANO	<- 188	595
QUEROSENO	38	210
BITUMEN	270	310

Fig. 3.2 Valores de ignición para el gas.

Límite inflamable:

Solo hay una banda limitada de concentración de gas/aire que producirá una mezcla de combustible. Esta es específica para cada gas y vapor, está vinculada a un nivel superior conocido como el Límite Superior de Explosividad (LSE) y un nivel inferior, denominado Límite Inferior de Explosividad (LIE).

Cuando el nivel sea menor que el LIE, no habrá suficiente gas para producir una explosión (es decir, la mezcla será demasiado "pobre") mientras que por encima del LSE, la mezcla no tendrá suficiente oxígeno (será demasiado "rica"). Por lo tanto, el rango de inflamación se encuentra entre los límites del LIE y del LSE para todos los gases o mezclas de gases. Fuera de estos límites, la mezcla no puede producir combustión como se muestra en la figura 3.3.

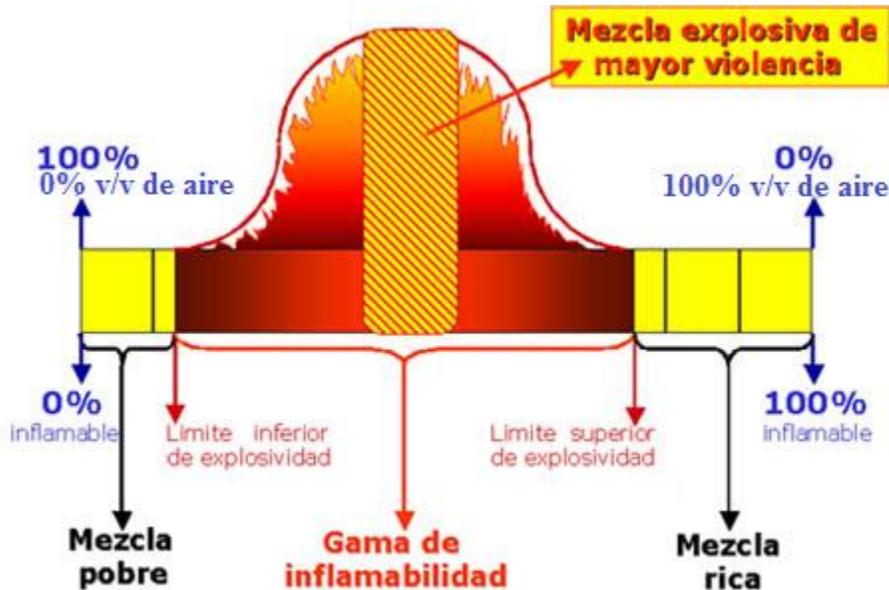


Fig. 3.3 Límites de inflamabilidad.

3.4 Fuentes de ignición

Superficies calientes: Las atmósferas explosivas pueden encenderse por contacto con superficies calientes cuando la temperatura de este alcance la temperatura de ignición de la atmósfera explosiva.

Deberá mantenerse un determinado margen de seguridad entre la temperatura máxima previsible en la superficie y la de ignición de la atmósfera explosiva, si existe la posibilidad de que una atmósfera explosiva entre en contacto con una superficie caliente.

Llamas y gases calientes: Las llamas, incluso las muy pequeñas, figuran entre las fuentes de ignición más efectivas.

Tanto las propias llamas como las partículas sólidas incandescentes pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva. Las llamas desnudas ocasionadas por trabajos de soldadura o fumar deben impedirse con medidas organizativas.

Chispas de origen mecánico: En operaciones que implican fricción, choque y abrasión, pueden desprenderse chispas que, a su vez, pueden provocar la ignición de gases y vapores inflamables o de algunas mezclas de niebla o polvo con aire (especialmente mezclas de polvo metálico con aire).

En el polvo acumulado, las chispas pueden iniciar un fuego latente y éste se convierte en la fuente de ignición de una atmósfera explosiva.

Reacción química: En el caso de las reacciones químicas con generación de calor (reacciones exotérmicas), las sustancias pueden calentarse y convertirse en fuentes de ignición.

Este auto-calentamiento es posible cuando la velocidad de producción de calor es superior a la de disipación del calor hacia el entorno. Entre otros parámetros, son decisivos la relación volumen/superficie del sistema reactivo, la temperatura ambiente y el tiempo de permanencia.

A su vez, las sustancias inflamables que puedan haberse formado con la reacción química (p. ej. gases o vapores) pueden, en contacto con el aire del ambiente, formar una atmósfera explosiva y, de este modo, aumentar considerablemente la peligrosidad de estos sistemas.

Material eléctrico: Las fuentes de ignición posibles en instalaciones eléctricas son las provocadas, incluso con tensiones pequeñas, por chispas eléctricas y por superficies calientes.

Electricidad estática: En condiciones operativas habituales pueden producirse descargas en las formas siguientes:

- Descargas de chispas: Pueden producirse por la carga de partes conductoras no conectadas a tierra.
- Descargas en penacho: Pueden producirse en las partes cargadas de material no conductor, entre las que figuran la mayoría de las materias plásticas.
- Descargas en haces deslizantes: Pueden producirse en procesos de separación muy rápidos, por ejemplo: películas en movimiento sobre rodillos, en operaciones de transporte neumático por tubos o recipientes revestidos de material aislante o en correas de transmisión.
- Descargas en conos de apilado: Pueden producirse, por ejemplo, en el llenado neumático de silos.

3.5 Riesgo de ignición electrostática

La electricidad estática es un fenómeno que cualquier persona habrá experimentado alguna vez en forma de descarga, al acercarse a tocar un elemento conductor como la manilla de una puerta, después de haber andado sobre un suelo de moqueta o al bajar de un automóvil y tocar la puerta. Igualmente se habrán podido observar destellos al quitarse ropa de tejido acrílico y la atracción del cabello al acercarse a la pantalla de un televisor.

La electricidad estática da lugar al conjunto de fenómenos asociados con la aparición de una carga eléctrica en la superficie de un cuerpo aislante o en un cuerpo conductor aislado.

Se sabe que la electricidad estática y las consiguientes Descargas Electrostáticas (ESD) ocasionan una multitud de problemas más o menos graves en muchos procesos

industriales. Cuando concurren las circunstancias “adecuadas”, la energía de una ESD puede ser suficiente como para iniciar incendios o explosiones.

3.6 Fundamentos de electrostática

Si se frotran dos cuerpos, sobre todo si son aislantes o tienen baja conductividad, puede producirse una separación de carga eléctrica. El cuerpo que pierde los electrones se carga positivamente (electrización positiva), mientras que el cuerpo que gana los electrones adquiere una carga negativa (electrización negativa). Se establece una fuerza de atracción entre ambos cuerpos.

Los materiales conductores permiten el paso de cargas eléctricas, mientras los aislantes lo obstaculizan. Las cargas electrostáticas negativas son electrones de los átomos de los elementos químicos y las positivas equivalen a la acción de los protones del núcleo atómico privados de los electrones de la última capa. Los electrones situados en la superficie de un material aislante o un conductor aislado no pueden disiparse fácilmente mientras no tengan una vía conductora a tierra.

Como ejemplo tenemos la generación de cargas electrostáticas en los trasvases de líquidos, básicamente, las cargas se generan:

- a) Al fluir el líquido por una canalización y a través de filtros, válvulas o bombas.
- b) Al salir el líquido proyectado a través de la boca de impulsión.
- c) Al caer el líquido en el interior de recipientes para su llenado, con el consiguiente movimiento sobre las paredes, generando turbulencias y salpicaduras.
- d) Al removerse el líquido en el recipiente contenedor ya sea en operaciones de transporte o de agitación y mezcla.

Esto lo podemos observar en la figura 3.4.

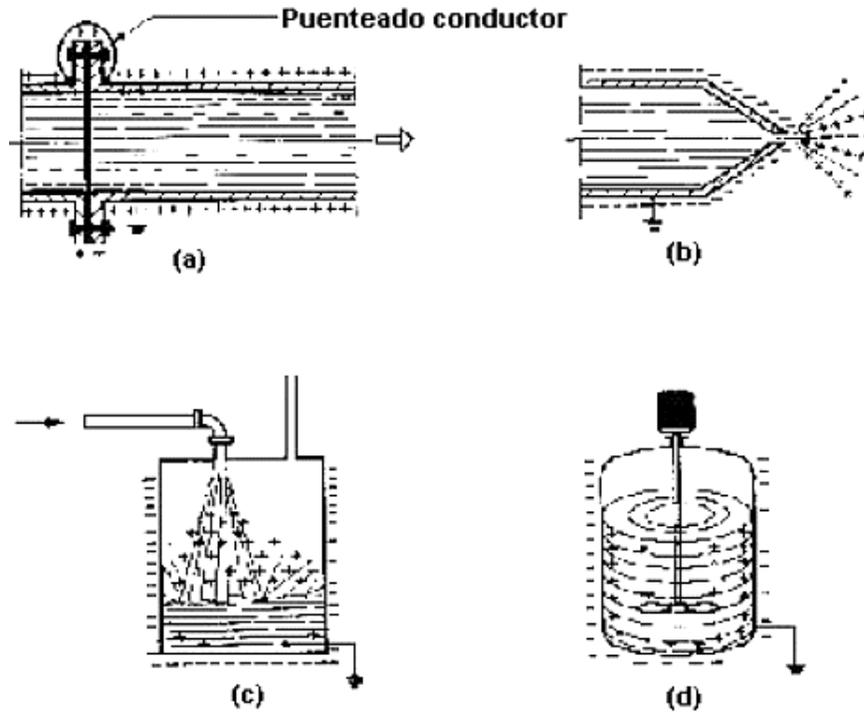


Fig. 3.4 ejemplos de generación de cargas electrostáticas.

La baja conductividad es la causa del problema. Las propiedades aislantes de los objetos pueden impedir que las partículas cargadas se eliminen, por ejemplo, a tierra entonces acaba produciéndose un agudo y continuo desequilibrio de cargas, que llamamos electricidad estática.

Un fuerte desequilibrio o separación de cargas supone un gran potencial eléctrico o tensión. Como consecuencia, aumenta el riesgo de que el desequilibrio se compense a través de una Descarga Electrostática (ESD). Existen muchas variables que condicionan el cómo, dónde y cuándo se producirá una descarga eléctrica, frecuentemente, algunas de estas variables son impredecibles desde el punto de vista práctico.

3.7 Parámetros que influyen en la acumulación de carga electrostática en tuberías no conductoras

En el siguiente apartado se analizan dos de los principales riesgos debidos a la electrostática y se ofrece una breve explicación de dichos riesgos para el caso concreto de la red de tuberías de una instalación.

Principio I: acumulación de carga electrostática entre dos malos conductores y posible aparición de descargas electrostáticas.

Cuando un mal conductor, como un fluido combustible, circula por el interior de una tubería de material plástico aislante (un mal conductor también) se puede producir una acumulación de electricidad estática. Con frecuencia en el interior de este tipo de redes de tuberías no conductoras aparecen pequeñas descargas electrostáticas al transportar fluidos combustibles.

Según el principio I, una ESD capaz de una ignición puede aparecer de dos formas posibles: una superficie plástica con carga negativa efectúa una descarga a una pieza metálica próxima conectada a tierra, o bien a otra superficie plástica con carga de sentido contrario.

Principio II: Carga electrostática de un conductor aislado ocasiona una posible aparición de un ESD, probablemente la mayor parte de las explosiones e incendios causados por descargas electrostáticas en el interior y en la proximidad de redes de tuberías enterradas se deben a los procesos descritos en el Principio II.

Bajo determinadas circunstancias, un conductor eléctrico, como puede ser una pieza metálica, puede adquirir carga si se encuentra eléctricamente aislado. La carga puede deberse al efecto triboeléctrico o a cargas por contacto

Los siguientes son los parámetros que influyen en la acumulación de carga electrostática dentro de una tubería no conductora:

- Conductividad eléctrica de las paredes de la tubería.
- Conductividad eléctrica del líquido.
- Contenido de impurezas en el líquido.
- Aditivos del combustible, como el azufre pueden afectar el nivel de acumulación de carga electrostática.
- Velocidad del flujo.
- Humedad relativa del aire, cuanto menor es la humedad, mayor es el peligro.
- Otros factores, como el empleo de para llamas.

3.8 Protección frente a cargas electrostáticas

Para la reducción de ESD en las redes ya existentes de tuberías no conductoras:

- a) Poner a tierra todos los conductores, piezas metálicas e incluso las personas:
 - Todos los componentes conductores cercanos a una atmósfera potencialmente explosiva deberán estar conectados a tierra o si no fuera posible, aislarse completamente con un material no conductor.
 - El personal de servicio que trabaje cerca de una atmósfera potencialmente explosiva y de una fuente potencial de ignición deberá tomar precauciones especiales y evitar cargarse electrostáticamente.
- b) Evitar en la medida de lo posible las tuberías no enterradas.
- c) Evitar en el líquido la presencia de impurezas y composiciones potencialmente peligrosas.
- d) Aplicar las propiedades dieléctricas, es decir, un espesor suficiente en la pared de la tubería.
- e) Implantar sistemas y procedimientos que reduzcan la posibilidad de acumulación electrostática y de atmósfera explosiva.
- f) Minimizar el número de diseños, procedimientos y errores humanos peligrosos mediante la aplicación de normas estrictas y la formación de todo el personal implicado.

- g) Comprobar de forma periódica que la tubería no presenta daños debidos a descargas electrostáticas.

Eliminación de la ESD al instalar nuevas redes de tuberías o al reemplazar partes de la tubería ya existentes.

- Instalar tuberías con la conductividad apropiada y poner a tierra el sistema completo eliminará los riesgos de ESD descritos en los principios I y II, además de eliminar posibles daños y perforaciones de la tubería causados por la electricidad estática y la consiguiente reducción de la vida útil de la tubería.
- Las principales soluciones existentes de tuberías conductoras para combustibles son en plástico y acero.

Existen medidas para prevenir los riesgos electrostáticos si se emplea tubería no conductora. Sin embargo, en la práctica, es difícil evitar los errores humanos (p. ej., al poner a tierra multitud de piezas metálicas en varias zonas de surtidores). Incluso puede existir riesgo en las secciones no enterradas de la tubería de un depósito.

3.9 Seguridad en manejo de gas propelente

Se define como propelente al fluido capaz de ejercer presión al estar contenido en un recipiente cerrado a temperatura ambiente. Los propelentes proveen la energía capaz de expeler el contenido, influyendo en la forma en la cual el producto es descargado pudiendo ser espumas, nieblas, etc.

Los propelentes más comunes en la industria del aerosol son:

- Éteres: dimetil éter $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$.
- Fluorocarbonos: clorofluorocarbonos o CFC's (prohibidos en la actualidad).
- Hidroclorofluorescentes.

- Gases comprimidos: dióxido de carbono, óxido nitroso, nitrógeno N₂ y aire comprimido.
- Hidrocarburos: butano C₄H₁₀, iso butano y propano.

Propelente hidrocarburo: los propelentes empleados con mayor frecuencia en la industria del aerosol son los hidrocarburos, que consisten en mezclas de gases licuados de butano, iso butano y propano de alta pureza, que son derivados directamente de pozos petroleros como producto terminado en la industria petrolera. Por lo general se emplean en productos para el cuidado personal, insecticidas, pinturas, pegamentos, etc. El gas está licuado a presión es inodoro e incoloro y en lo que se refiere al PH no se aplica por ser hidrocarburo.

El Propelente Hidrocarburo es extremadamente inflamable, tanto en fase vapor como en fase líquida. El vapor mezclado con oxígeno o aire, puede formar mezclas inflamables o explosivas, por lo que debe evitarse la presencia de fuentes de ignición (fuentes de calor, chispas, flama abierta, etc.).

Clasificado como alto grado de riesgo de incendio.

Por seguridad, el gas propelente se debe:

Mantener alejado del calor/ de chispas / llamas abierta /de superficies calientes y otras fuentes de ignición. No fumar.

No utilizar herramientas que produzcan chispas.

Tomar medidas de precaución contra las descargas electrostáticas.

Detener la fuga si puede hacerlo sin riesgo.

Fuga de gas inflamado. No apagar las llamas del gas inflamado si no puede hacerse sin riesgo.

Evacuar la zona.

En caso de fuga eliminar todas las fuentes de ignición.

En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua.

En caso de contacto con los ojos: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado por 20 minutos.

En caso de un incendio de grandes proporciones y si se trata de grandes cantidades: Evacuar la zona y combatir el incendio a distancia debido al riesgo de explosión.

En caso de inhalación, transportar la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.

3.10 Uso del Diamante de Seguridad en propelentes

Para el óptimo manejo del gas hidrocarburo existe un documento llamado Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (HDSM).

Esta incluye, entre otros aspectos, las propiedades y riesgos del material, como usarlo de manera segura y que hacer en caso de una emergencia. El objetivo de este documento es el de proporcionar orientación para la comprensión e interpretación de la información presentada.

También se especifica el grado de peligrosidad del gas en el código NFPA 704, esta es una norma que explica, basados en el diamante de materiales peligrosos los riesgos del propelente. Este código fue establecido por la Asociación de Protección contra el fuego (National Fire Protection Association) de los Estados Unidos. El siguiente cuadro (figura 3.5) explica cómo se aplica el código.



Fig. 3.5 Código para el grado de peligrosidad de gases.

El sistema consiste en asignar colores y números, y dar una “clasificación” a un producto, manejando una escala del 0 al 4, dependiendo del grado de su peligrosidad. Cada uno de estos peligros está asociado a un color específico.

El azul hace referencia a los riesgos para la salud

El rojo indica el peligro de inflamabilidad

El amarillo señala los riesgos por reactividad: es decir, la inestabilidad del producto.

A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo).

En la sección blanca puede haber indicaciones especiales para algunos materiales, indicando que son oxidantes, ácidos, alcalinos, corrosivos, reactivos con agua o radiactivos.

Los propelentes hidrocarburos están constituidos básicamente por mezclas de propano, iso-butano y n- butano. En forma pura, corresponden a los propelentes A-108, A-31 y A-18, respectivamente. La terminología internacional, emplea una “A” para denotar el grado aerosol.

Para describir la peligrosidad del butano en planta y en transporte se ocupan los siguientes símbolos (figura 3.6) donde el número 1 del cuadro azul indica que es poco peligroso para la salud, inflamabilidad 4 es decir por debajo de 25 °C, presenta una reactividad 0 que significa estable, el símbolo de fuego indica que es inflamable y el número 1011 es asignado por ONU al gas:

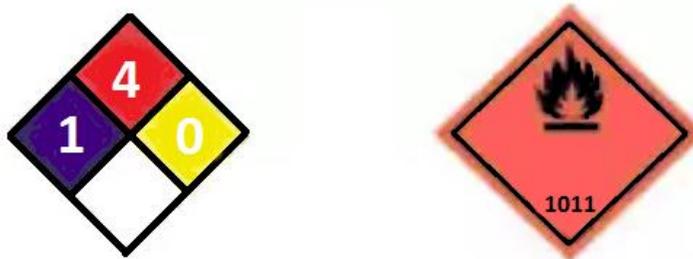


Fig. 3.6 Códigos de identificación de la peligrosidad del butano.

Un segundo ejemplo para describir la peligrosidad del propano en planta y en transporte se ocupan los siguientes símbolos (figura 3.7) de la misma manera que el caso anterior del butano:

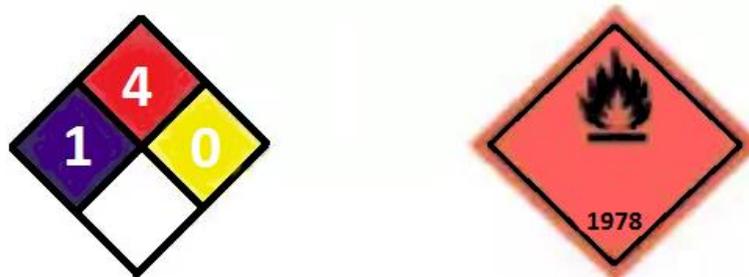


Fig. 3.7 Códigos de identificación de la peligrosidad del propano.

Datos de reactividad: los gases hidrocarburos son considerados sustancias estables. En lo que se refiere a la incompatibilidad, este tipo de propelentes son incompatibles con sustancias oxidantes y puede reaccionar con cloro, bromo, flúor, etc. No reacciona con el agua, ácidos bases ni con otros reactivos de uso común.

3.11 Riesgo de explosión o incendio

Al ser altamente inflamable el propelente hidrocarburo, se debe manejar con sus respectivos cuidados mencionados anteriormente. Es importante saber que la inflamabilidad es la facilidad con que un material puede arder, tanto espontáneamente o por exposición a un ambiente de alta temperatura como una chispa o llama abierta.

Los hidrocarburos son extremadamente inflamables, sin embargo, para que realmente se genere una ocasión de peligro en planta de producción de aerosoles se necesitan tres elementos: oxígeno, combustible y una fuente de ignición.

El oxígeno es imposible de controlar o eliminar porque se encuentra en el aire que respiramos, pero si se puede y debe tener cuidado para evitar la acumulación del propelente hidrocarburo y posibles fuentes de ignición, la siguiente tabla (figura 3.8) expone los límites de inflamabilidad del gas propelente; es decir, la proporción de mezcla con oxígeno con los que se vuelven inflamables.

Sustancia	Límites de inflamabilidad LIE- LSE
Propano	2.2 % - 9.5 %
Iso-Butano	1.8 % - 8.4 %
n Butano	1.8 % - 8.5 %

Fig. 3.8 Límites de inflamabilidad de algunos gases.

Para entender el Limite de Inflamabilidad tenemos el siguiente ejemplo:

Consideraremos una habitación que podría ser la cocina de cualquier casa, si nosotros abrimos la espita del gas y a la vez en el otro extremo de la estancia alguien encendiese un mechero, no ocurriría ningún efecto sobre el gas que fuga de la cocina, sin embargo, si dejamos que la espita del gas siga vertiendo moléculas en el recinto y

mantenemos la llama encendida al cabo de un cierto tiempo se produciría la inflamación del gas.

Este hecho es debido a que, si, por ejemplo, estamos hablando de gas propano, será necesario que en el recinto la concentración de este alcance el 2.2% del volumen total para comenzar la ignición, a este porcentaje es a lo que se denomina L.I.E Límite Inferior de Explosividad por debajo de este nunca obtendremos inflamación en condiciones normales.

Si seguimos con la experiencia anterior, pero esta vez dejamos que la cocina se llene de gas propano, sin que exista una llama o fuente de ignición presente, observaríamos que pasado un cierto tiempo, cuando intentásemos encender la llama, curiosamente no se produciría ningún tipo de efecto, esto ocurrirá cuando la concentración de gas supere el valor del 9.5% del volumen total, y será como consecuencia de que la cantidad de oxígeno presente en el recinto no sea suficiente para reaccionar con la cantidad de gas existente.

A esta concentración de gas sobre la cual no es posible que exista combustión, se le denomina Límite Superior de Explosividad (L.S.E.).

El propelente hidrocarburo arde completamente formando dióxido de carbono y agua.

En lugares cerrados con deficiencia de oxígeno, puede formarse grandes cantidades de monóxido de carbono que es nocivo para la salud.

Para prevenir un accidente hay condiciones a evitar, considerando que el propelente hidrocarburo es un material altamente inflamable, los recipientes deberán estar alejados de fuentes de fuego, calor, y de materiales combustibles.

Los vapores del propelente hidrocarburo son inicialmente más densos que el aire y pueden formar mezclas inflamables. La nube inflamable puede arder y originar explosiones no confinadas.

Un recipiente que contenga propelente hidrocarburo y que sea expuesto al fuego directo puede explotar por la expansión de los vapores del líquido en ebullición y proyectar los fragmentos a grandes distancias.

3.12 Riesgos para la salud

Los propelentes hidrocarburos son un asfixiante simple, desplaza al oxígeno del aire y puede provocar diferentes fases de hipoxia (deficiencia de oxígeno). El contacto con el líquido provoca quemaduras por congelamiento, cuya intensidad varía de acuerdo con el tiempo de explosión y cantidad. Provoca dolor, hinchazón, irritación e inflamación de tejidos.

Ingerir o inhalar hidrocarburos puede causar irritación de los pulmones, con tos, asfixia, ahogos y problemas neurológicos.

Esnifar o respirar vapores puede causar latidos irregulares del corazón, frecuencia cardíaca rápida o muerte súbita.

3.13 Posible futuro de los propelentes

La historia de los propelentes ha sido desafiante y caótica, ya que los anteriores, fueron prohibidos y reemplazados por otros cuyas propiedades no fueron comprendidas en su momento. En Estados Unidos y Canadá los clorofluorocarbonos no inflamables, fueron usados casi exclusivamente entre los años 1946 a 1978, cuando fueron prohibidos debido a sus habilidades para disminuir el ozono de la atmosfera.

Después el mercado cambio hacia los propelentes de hidrocarburos, el resultado no fue muy bueno, debido a que se presentaron más de 20 explosiones en plantas tan solo en Estados Unidos.

En 1996 DuPont introdujo su línea de propelentes Dymel, éter dimelítico (DME), estos todavía eran inflamables pero la mitad de peligrosos que son los hidrocarburos, debido a que las partes de la molécula con oxígeno y flúor no eran inflamables. A pesar de las mejoras de estos propelentes solo algunos años después de su uso fueron prohibidos porque en el aspecto ambiental continuaban sin presentar mejoras.

En 2010 la empresa DuPont estaba desarrollando uno o más propelentes identificados solo como 1, 2, 3 o 4, finalmente la información fue confirmada y se supo que DuPont había desarrollado propano no saturado basado en un compuesto con flúor.

El producto era difícil de sintetizar y supuestamente se producía en china, mientras técnicamente era inflamable, este atributo fue minimizado por la presencia de los cuatro átomos de flúor.

Los compuestos con flúor siempre han sido tan extremadamente importantes como los propelentes de aerosol, a pesar de que muchos ahora han sido prohibidos.

Uno de los más simples es el fluoruro de etilo, puede ser producido por la simple reacción de etileno, gas y fluoruro de hidrogeno a cerca de 95 °C y tiene un buen rendimiento a un precio relativamente bajo.

Un gran número de otros hidrocarburos fluoruros existen, tal como el HFC-245fa el decafluoropentano (C₅F₁₀ conocido como Vertrel XF), su uso comercial es muy limitado, principalmente por sus altos índices de potencial de calentamiento global.

Los propelentes con flúor han jugado un gran papel en la industria del aerosol, a pesar de que sus aplicaciones recientes han sido entorpecidas por sus altos costos, en la actualidad se encuentra en curso una investigación más extensa y desarrollo de fórmulas, con la expectativa de más productos en los años futuros.

3.14 Materiales anti explosión

Para realizar una instalación eléctrica anti explosión, lo primero que se debe hacer es: la clasificación del área donde se realizará para determinar los distintos niveles o condiciones de peligrosidad de la zona.

Un área clasificada se define como tal, si existe un potencial riesgo temporal o permanente para la generación de un incendio o explosión, debido a la presencia en el ambiente de materiales combustibles o mezclas de gases, vapores, líquidos partículas o fibras que puedan estar presentes durante los procesos normales de fabricación, almacenaje, en caso de ruptura o avería de los contenedores de almacenaje u operación anormal de los equipos.

Se les denomina materiales anti explosión a aquellos que tienen una mayor resistencia a una ignición, por ejemplo, existen plásticos, telas, conductores que se pueden utilizar en instalaciones eléctricas para incrementar el factor de seguridad.

3.15 Condiciones básicas de seguridad

El trabajo con electricidad es a menudo causa de incendios y explosiones, ya que funciona como fuente de ignición. Se estima, de hecho, que los sistemas eléctricos en malas condiciones de seguridad son una de las principales causas de incendios.

Algunas de las posibles fuentes de ignición causadas por el sistema eléctrico son:

- Envejecimiento de circuitos y cortocircuitos en tomas de corriente.
- Recalentamiento del cableado y sobrecargas eléctricas.
- Fallas en los circuitos de motores eléctricos.

- Puntos de luz e interruptores expuestos a atmósferas explosivas: una chispa puede ser especialmente peligrosa si se trabaja en atmósferas explosivas o en la cercanía de gases o líquidos inflamables.

La durabilidad de una instalación eléctrica depende de múltiples factores, como la calidad del diseño eléctrico y si se ajustó a las necesidades del cliente, construcción con buenas prácticas de las técnicas de instalación, calidad de los materiales utilizados, el tipo de instalación (residencial, comercial, industrial o institucional), uso del sistema y la categoría de mantenimiento que reciba (preventivo, correctivo, predictivo o ninguno).

El proceso preventivo frente al riesgo eléctrico consiste básicamente en:

1. Identificación y evaluación de las diferentes causas que pueden producir accidentes.
2. Eliminación y control del riesgo.
3. Diseño e implantación de medidas preventivas.

La prevención de este riesgo consiste en evitar todo tipo de contactos eléctricos, a través de:

1. El uso de instalaciones y aparatos eléctricos seguros.
2. El cumplimiento de la normativa de seguridad en instalaciones eléctricas.
3. El respeto de las buenas prácticas en la conexión instalación-aparato.
4. La realización de todas las operaciones de manipulación de elementos que pueden estar activos sin tensión.

La protección contra el contacto directo consiste básicamente en poner fuera del alcance de las personas los elementos conductores bajo tensión, mediante alguna de las siguientes medidas:

- Alejamiento de partes activas.
- Interposición de obstáculos.
- Recubrimiento de partes activas.

- Utilización de pequeñas tensiones de seguridad.
- Uso de dispositivos diferenciales de alta sensibilidad.

Los sistemas de protección contra contactos eléctricos indirectos se basan en alguno de los siguientes principios:

- Impedir la aparición de defectos mediante aislamientos complementarios.
- Hacer que el contacto eléctrico no sea peligroso mediante el uso de tensiones no peligrosas.
- Limitar la duración del contacto a la corriente mediante dispositivos de corte.

Las medidas de protección frente al riesgo de contacto eléctrico indirecto son de dos clases:

Clase A: Esta medida consiste en tomar disposiciones destinadas a suprimir el riesgo en sí mismo, haciendo que los contactos no sean peligrosos. Entre estas disposiciones están:

- Empleo de pequeñas tensiones de seguridad.
- Separación de circuitos.
- Recubrimiento de las masas con aislamiento de protección.

Clase B: esta medida consiste en la puesta a tierra de las masas de los aparatos, asociándola a un dispositivo de corte automático que origine la desconexión del aparato defectuoso. Se utilizarán diferenciales de sensibilidad adecuada de forma que, en caso de defecto, la corriente no supere el máximo admisible.

3.16 El riesgo eléctrico

El riesgo eléctrico está presente en cualquier tarea que implique manipulación o maniobra de instalaciones eléctricas de baja, media y alta tensión, operaciones de

mantenimiento de las mismas, utilización, manipulación y reparación del equipo eléctrico, etc. Dentro del riesgo eléctrico quedan específicamente incluidos:

- Electrocución: es la posibilidad de circulación de una corriente a través del cuerpo humano.
- Quemaduras por choque eléctrico o arco eléctrico.
- Caídas o golpes como consecuencia de choque eléctrico o arco eléctrico.
- Incendios o explosiones originados por la electricidad.

Los efectos de la electricidad sobre el organismo: Cuando una persona se pone en contacto con la corriente eléctrica, no todo el organismo se ve afectado, por igual, existen partes del cuerpo que resultan más dañadas como:

- Piel: es el primer contacto del organismo con la electricidad, el principal riesgo son las quemaduras.
- Músculos: cuando la corriente llega a los músculos estos se contraen, si los impulsos son continuos producen contracciones sucesivas conocidas como tetanización de forma que la persona es incapaz físicamente de soltarse del elemento conductor por sus propios medios.
- Corazón: la corriente produce una alteración total en el sistema de conducción de los impulsos que rigen la contracción cardiaca. Se produce la denominada fibrilación ventricular, en la que cada zona del ventrículo se contrae o se relaja descoordinadamente, de esta forma el corazón es incapaz de desempeñar con eficacia su función de mandar sangre al organismo, interrumpiendo su circulación y desembocando en un paro cardíaco.
- Sistema nervioso: los impulsos nerviosos son de hecho impulsos eléctricos. Cuando una corriente eléctrica externa interfiere con el sistema nervioso aparecen una serie de alteraciones, como vómitos, vértigos, alteraciones de la visión, pérdidas de oído, parálisis, pérdida de conciencia o parada cardiorrespiratoria. También pueden afectarse otros órganos, como el riñón (insuficiencia renal) o los ojos (cataratas eléctricas, ceguera). Además,

indirectamente, el contacto eléctrico puede ser causa de accidentes por caídas de altura, golpes contra objetos o proyección de partículas.

El cuerpo humano se comporta como un conductor de electricidad cuando se encuentra accidentalmente en contacto con dos puntos a diferente tensión. En esa situación es donde se produce el riesgo de electrocución, ya que existe la posibilidad de que la corriente eléctrica circule a través del cuerpo humano. Existen diversos factores que pueden modificar las consecuencias del choque eléctrico, con lo que los efectos pueden ser muy diversos. Los principales factores son:

- Intensidad (miliamperios): la otra unidad para medir la corriente es el Ampere que determina la intensidad o cantidad de carga contenida en el paso de corriente entre dos puntos con diferente potencial, Ésta suele ser el factor determinante de la gravedad de las lesiones, de tal forma que a mayor intensidad, peores consecuencias, lo que significa que “lo que mata es la intensidad, no el voltaje”, ya que cuando tocamos un elemento activo de la instalación eléctrica o un elemento puesto accidentalmente en tensión se establece una diferencia de potencial entre la parte de nuestro cuerpo que lo haya tocado y la parte del cuerpo puesta en tierra.
 - a) 0.05 mA cosquilleo en la lengua.
 - b) 1.1 mA cosquilleo en la mano.
 - c) 0-25 mA tetanización muscular.
 - d) 25-30 mA riesgo de asfixia.
 - e) 30-50 mA fibrilación ventricular.
 - f) Mayor a 4 A paro cardíaco.

- Frecuencia de la corriente: la mayoría de las instalaciones se realizan en corriente alterna, pero también debemos saber que existe la corriente continua.

La corriente continua actúa por calentamiento y aunque no es tan peligrosa como la corriente alterna, puede producir, a intensidades altas y tiempo de exposición

prolongado, embolia o muerte por electrólisis de la sangre. En la corriente alterna si se da superposición de la frecuencia al ritmo nervioso y circulatorio puede producir espasmos y fibrilación ventricular.

- Resistencia corporal (ohm): el cuerpo humano no tiene una resistencia constante, de hecho, la resistencia de los tejidos humanos al paso de la corriente es muy variable, dependerá mucho de la tensión a la que está sometido y de la humedad del emplazamiento. La piel es la primera resistencia al paso de la corriente al interior del cuerpo. Gran parte de la energía eléctrica es usada por la piel produciendo quemaduras, pero evitando lesiones profundas más graves.
- Tensión (voltios): es un factor que, unido a la resistencia, provoca el paso de la intensidad por el cuerpo. Es lo que anteriormente hemos llamado diferencia de potencial entre dos puntos, la tensión de contacto es aquella que surge de aplicarse entre dos partes distintas del cuerpo. Las lesiones por alto voltaje tienen mayor poder de destrucción de los tejidos y son las responsables de las lesiones severas; aunque con 120-220 voltios también pueden producirse electrocuciones.
- Tiempo de contacto: es, junto con la intensidad, el factor más importante que condiciona la gravedad de las lesiones (tener en cuenta que en baja tensión el tiempo de contacto se puede alargar debido a la tetanización que se produce a partir de 10 mA).
- Recorrido de la corriente: el punto de entrada y de salida de la corriente eléctrica en el cuerpo humano es muy importante a la hora de establecer la gravedad de las lesiones por contacto eléctrico, así las lesiones son más graves cuando la corriente pasa a través de los centros nerviosos y órganos vitales, como el corazón o el cerebro. Existe una regla: “la regla de una sola mano”, que establece que al trabajar con circuitos eléctricos en tensión se debe emplear una sola mano, manteniéndose la otra apartada hacia otro lado. Con ello se evita que la corriente pase de un brazo a otro y por tanto que afecte los órganos vitales.

La evaluación de riesgos va dirigida a comprobar si los equipos y las instalaciones son los adecuados para evitar que los trabajadores puedan sufrir contactos eléctricos directos o indirectos, peligrosos, quemaduras, etc.

Esto implica:

Comprobar la adecuación de los equipos y/o instalaciones eléctricas a las condiciones en que se utilizan:

Condiciones de los locales: locales mojados, locales con superficies conductoras.

Condiciones de la actividad: posible presencia de atmósferas combustibles o explosivas, ambientes agresivos (contaminación, temperaturas extremas, corrosión, etc.).

Condiciones ambientales: instalaciones en interior o a la intemperie, altitud, sobretensiones y otras perturbaciones en la alimentación, etc.

Tener en cuenta el cumplimiento de la normativa legal específica aplicable, en particular, la reglamentación electrotécnica y otras disposiciones sobre seguridad industrial (máquinas, material eléctrico destinado a utilizarse en baja tensión, compatibilidad electromagnética, equipos aptos para uso en atmósferas explosivas, etc.).

Además, será necesario comprobar que los trabajadores disponen de la formación e información adecuadas para la correcta utilización de los equipos y/o instalaciones eléctricas.

4. Generalidades del diseño eléctrico en una planta de inyección de gas propelente en aerosol

4.1. Dimensiones del lugar contemplado para la instalación

Para el desarrollo del presente proyecto de instalación eléctrica se consideraron en forma general los parámetros de diseño.

A continuación, mostramos las dimensiones perimetrales y distribución de áreas contempladas para la instalación eléctrica en una planta de inyección de gas propelente en aerosol.

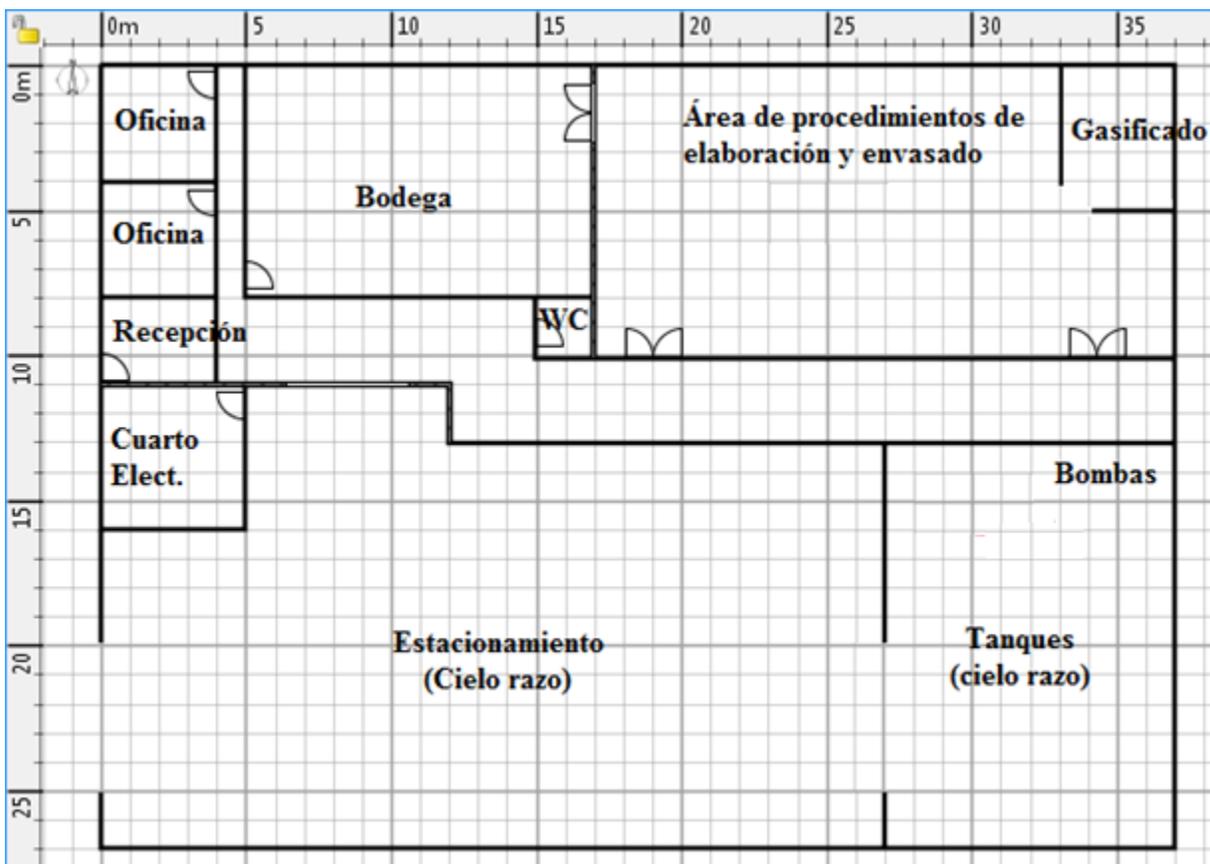


Fig. 4.1 Dimensiones perimetrales de la construcción.

4.2 Equipos en ambientes especiales; Atmosfera explosiva

Primeramente, hacemos énfasis que todos los equipos y materiales son antiexplosivos para protegerse de las zonas o áreas donde puedan existir o producirse vapores inflamables, porque no permiten altas concentraciones de gases en su interior, en caso de producirse fallas, impiden la inflamación de gases que existan o se produzcan al exterior del equipo.

La instalación eléctrica, interruptores, arrancadores, cajas, tuberías, motor, cableado y accesorios; serán acordes a la zona de riesgo en la que estarán instalados según la clasificación de las áreas de riesgos de explosión.

4.3 Clasificación de áreas peligrosas

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 2012 y El Código Nacional Eléctrico (NEC) en sus Artículos 500 al 504, publican una clasificación de áreas peligrosas de acuerdo con el material combustible presente; así como la frecuencia y tipo de permanencia con que se encuentra en el lugar.

De esta forma, el área peligrosa queda definida especificando la Clase y División a la que pertenece.

En nuestro caso, el uso de gas propelente, por lo cual utilizamos la clasificación presentada en la NOM-001-SEDE 2012 como sigue:

Clase I. Los diferentes gases tienen una temperatura de ignición y características de explosión diferentes, están subdivididos en cuatro grupos. Estos gases están clasificados en los Grupos A, B, C y D.

Aplicando el ingenio en el diseño de las instalaciones eléctricas para lugares peligrosos (clasificados), frecuentemente es posible ubicar la mayor parte de los equipos en un nivel más bajo de la clasificación o en un lugar no clasificado, y así reducir el número de equipos especiales necesarios.

De acuerdo a áreas peligrosas específicas el Artículo 515 de NOM-001 SEDE-2012:

Plantas de almacenamiento de combustible; Este artículo cubre un predio o parte de este donde se reciben líquidos inflamables de buques cisterna, tuberías, carros tanque o vehículos con tanque, y se almacenan o mezclan con el fin de distribuir tales líquidos mediante buques cisterna, tuberías, carros tanque o vehículos con tanque, tanques portátiles o contenedores para la clasificación eléctrica de áreas es necesario utilizar la tabla (ANEXO 1) que encontraremos en la sección de anexos.

A continuación, se presenta como queda la clasificación de zonas en la planta de llenado de aerosoles para nuestro caso: Clase I División I. Grupo D

Recordemos que

Los lugares Clase I, División I son aquellos en los que se vierten de un contenedor a otro líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables

Grupo D: Atmósferas con gases como acetona, amoníaco, benceno, butano, etanol, gasolina, hexano, metanol, metano, gas natural, nafta, propano, gases o vapores de riesgo equivalente.

Zona de tanques de GLP	Zona 0
Zona de bombas de GLP	Zona 0
Área de procedimientos de elaboración	Zona 1
Colocación de actuadores	Zona 1
Baño de prueba	Zona 1
Gasificado	Zona 1
Oficinas, recepción	No clasificadas como peligrosas

Fig. 4.2 Clasificación de zonas en la planta de llenado de aerosoles.

Un lugar de Clase I, Zona 0 es un lugar:

- (1) En el que continuamente están presentes concentraciones de gases o vapores inflamables.
- (2) En el que están presentes durante largos períodos de tiempo concentraciones de gases o vapores inflamables.

Un lugar de Clase I, Zona 1 es un lugar:

- (1) En el que es probable que haya concentraciones de gases o vapores inflamables en condiciones normales de operación.
- (2) En el que frecuentemente puede haber concentraciones de gases o vapores inflamables debido a operaciones de reparación o mantenimiento, o por fugas, o
- (3) En el que se opera equipo o se llevan a cabo procesos de tal naturaleza que la ruptura u operación defectuosa del equipo podría producir la liberación de concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables y causar además la falla simultánea de los equipos eléctricos, de un modo que cause que el equipo eléctrico se convierta en una fuente de ignición.
- (4) Que está adyacente a un lugar de Clase I, Zona 0, desde la que podrían pasarse concentraciones inflamables de vapores, excepto si ese paso se previene mediante una ventilación de presión positiva adecuada desde una fuente de aire limpio y se suministran medios eficaces de protección contra fallas de la ventilación.

4.4 Información necesaria para el diseño del circuito eléctrico

Una vez clasificado se procede a generar el diseño del circuito, para el cual se requiere del conocimiento de la potencia o carga que se va a alimentar, es decir la demandada en la instalación y no la suma de las capacidades de los equipos que serán instalados, mismos que veremos más adelante. Mientras mayor información se tenga al respecto del consumo y de las condiciones de operación de todos los elementos que estarán

conectados a la instalación, mayores serán las posibilidades de un cálculo que cumpla con los requerimientos técnicos y que sea económico.

La elaboración del sistema eléctrico, consiste básicamente en proporcionar un arreglo de conductores, materiales y equipos de toda índole, con el fin de utilizar la energía eléctrica en forma segura y eficaz desde la fuente de suministro hasta el último utilitario: lámparas, motores, dispositivos de control y protección que constituyen el sistema.

Para la realización de los cálculos correspondientes, se hizo uso de las tablas de especificaciones técnicas de cada máquina o equipo a utilizar que encontraremos en la sección de anexos.

Los resultados de los cálculos los podemos observar en las figuras 4.4 y a la 4.9. haciendo uso de las fórmulas mencionadas en su respectiva sección.

4.5 Circuito de fuerza

Se considerará circuito de fuerza a toda aquella instalación en que la energía eléctrica se use preferentemente para obtener energía mecánica y/o para intervenir en algún proceso productivo industrial.

De acuerdo a la NOM-001 SEDE-2012 se establece lo siguiente.

Las salidas de contactos se deben considerar cuando menos de 180 VA para cada contacto sencillo o múltiple instalado en el mismo yugo. Un contacto múltiple compuesto de cuatro o más contactos, se debe calcular con no menos de 90 VA por cada contacto.

El factor de demanda es la relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o a una parte del mismo.

La NOM-001 SEDE-2012 proporciona factores que se deben de cumplir de acuerdo a la siguiente figura:

Parte de la carga de contactos a la que se aplica el factor de demanda (voltamperes)	Factor de demanda (%)
Primeros 10 kVA o menos	100
A partir de 10 kVA	50

Fig. 4.3 Factores de demanda para cargas de contactos en inmuebles que no son unidades de vivienda.

Es decir, si se contempla en la instalación una carga menor a 10 KVA se contemplará un factor de demanda del 100%, de ser mayor se contemplará 50%; este caso específicamente para inmuebles que no son unidades de vivienda.

Fórmulas.

Potencia aparente:

$$S = \frac{P}{\cos\phi} [VA]$$

Corriente:

$$I = \frac{S}{V} [A]$$

Donde:

I=corriente.

P= potencia activa.

S=potencia aparente.

Cos ϕ = factor de potencia (f.d.p.).

Sección del conductor por caída de tensión:

NEC/NFPA70 y NOM-001-SEDE-2012 por lo general no requieren u obligan que los conductores tengan un porcentaje de caída de tensión en particular, sin embargo, se recomienda que la caída de voltaje máxima combinada para el alimentador más el circuito ramal no debe superar el 5% y el máximo en el circuito alimentador o ramal no debe superar el 3%.

La caída de tensión de un circuito está en proporción directa a la resistencia del conductor y magnitud de la corriente. Si se aumenta la longitud de un conductor, aumenta su resistencia y por lo tanto aumenta su caída de voltaje.

Caída de tensión.

$$S_{cu} = \frac{2cLI}{e\%V} \Rightarrow e\% = \frac{2cLI}{S_{cu}V}$$

S_{cu} = Área o sección transversal (mm^2).

I = Corriente eléctrica (A).

L = Longitud del conductor (m).

$e\%$ = Caída de tensión máxima permisible (%).

V = Voltaje aplicado en volts.

$c = 2$ En sistemas monofasicos y bif., con valor de $\sqrt{3}$ para sistemas trifasicos.

Para los cálculos correspondientes al circuito de fuerza, son necesarios los datos del compresor y motor a utilizar, los presentamos en la sección de anexos (ANEXO 2).

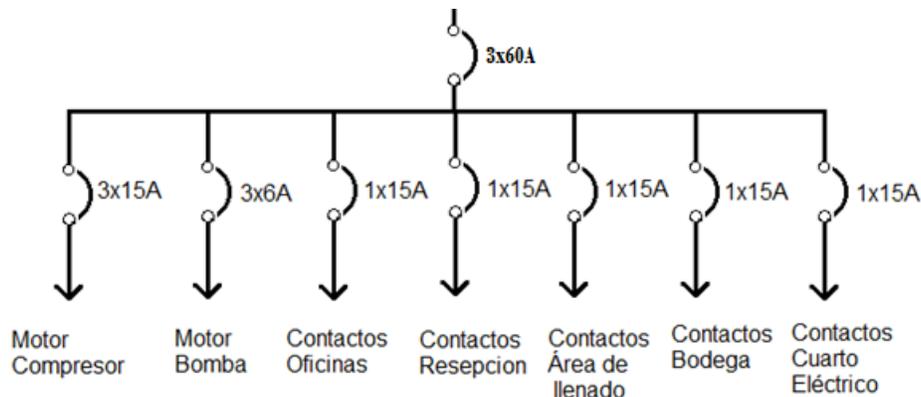


Fig. 4.4 Diagrama unifilar del circuito de fuerza.

El diagrama unifilar es una representación gráfica de la instalación eléctrica o parte de ella, para este caso circuito de fuerza.

A continuación, presentamos una tabla con valores obtenidos en los cálculos correspondientes al circuito de fuerza aplicando las fórmulas anteriormente presentadas.

Así mismo veremos cómo interpretar los datos presentados en ella, ejemplos de obtención de resultado con las fórmulas descritas previamente.

Circuito	Descripción	Cantidad	Voltaje (V)	P(W)	Fp	S(VA)	Carga Instalada (VA)	In (A)	Calibre del conductor THHN	Longitud del Circuito (m)	%e	Tubería	Protección	Fd %
A	Compresor	1	220	5595	1	6217	6217	8.8	12	45	2	3/4"	3x15A	80
B	Motor	1	220	746	1	933	933	2.1	12	53	1	3/4"	3x6A	100
C	Contactos Oficinas	8	120			180	1440	12	14	>30	4	3/4"	1x15A	100
D	Contactos Reseccion	4	120			180	720	6	14	>30	3	3/4"	1x15A	100
E	Contactos área de llenado	8	120			180	1440	12	14	>30	4	3/4"	1x15A	100
F	Contactos Bodega	4	120			180	720	6	14	>30	3	3/4"	1x15A	100
G	Contactos Cuarto Elctrico	4	120			180	720	6	14	>30	3	3/4"	1x15A	100

Fig.4.5 Carga instalada en el circuito de fuerza.

De la figura 4.5 tenemos lo siguiente:

En la primera columna nos encontramos con las derivaciones del circuito de fuerza, posteriormente tenemos el nombre de cada derivación, en la tercera columna se tiene la cantidad de equipos en cada derivación.

Nos encontramos posteriormente al voltaje, potencia y factor de potencia respectivamente de cada derivación.

Para la obtención de los siguientes valores mostrados en la tabla se hizo uso de las fórmulas previamente mostradas, procedemos a ejemplificar con el cálculo del circuito A.

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi} [VA] \quad \frac{5595}{0.9} = 6217 [VA]$$

La carga instalada se obtiene de multiplicar la Potencia (S) por la cantidad de equipos en el circuito para este caso 1, por lo tanto, la carga instalada es 6217[VA].

Corriente nominal [In] es proporcionada por el fabricante por lo que se consulta en la sección de anexos previamente mencionado, donde se puede ver las características de este equipo y se tiene un valor de 8.8A.

La longitud del circuito se determina a la distancia de colocación del equipo hasta el tablero principal, para nuestro caso 45m.

Para la caída de tensión (%e) hacemos uso de la fórmula siguiente, que previamente se indicó que representa cada símbolo de la misma.

$$e\% = \frac{2cLI}{ScuV} \quad \frac{2 * \sqrt{3} * 45 * 8.8}{3.31 * 220} = 1.88$$

Donde 3.31 se obtiene de la sección de anexos (ANEXO 5) que corresponde a la sección transversal del conductor calibre 12 el cual es seleccionado por su capacidad de Ampacidad que se puede consultar en la misma tabla.

Para la selección de tubería se hace uso de la tabla presentada en anexos como ANEXO 6 donde nos indica que para más de 2 conductores se tiene factor de relleno 40%.

La protección se selecciona Interruptor termomagnético 3x15A al ser un equipo trifásico.

Por último, se considera un factor de demanda del 80% proporcionado en los valores de fábrica.

4.6 Circuito derivado de iluminación

En la NOM 025-STPS-2008 de la Secretaría del Trabajo se establece los niveles de iluminación correctos, para poder establecer requerimientos óptimos en todas y cada una de las áreas en los centros de trabajo; es obligación de las empresas o patrones, evaluar los niveles de iluminación óptimos.

Cabe mencionar que esta norma no está presente en las normas ATEX mencionadas en los capítulos anteriores puesto que esta es de uso exclusivo para niveles de iluminación.

Se debe conocer el tipo de edificación y qué clase de actividad se desea realizar allí, pues dependiendo de esto, se establecerá el nivel de iluminancia promedio con que debe contar la edificación. La tabla niveles de iluminación la podemos encontrar en la sección de anexos como (ANEXO 3).

Fórmulas:

$$hm = h - (PT + PML) \quad [m]$$

hm = Altura de la cavidad del local (m).

h = Altura del local (m).

PT = Plano de trabajo (m).

PML = Plano de montaje de luminarias (m).

$$k = \frac{(l * a)}{h(l + a)}$$

l = Largo del local (m).

a = Ancho del local (m).

k = Índice del local.

$$\varphi_{tot} = \frac{Em * A}{CU * Fm}$$

φ_{tot} = Flujo total requerido.

E_m = Iluminancia media, según el tipo de ambiente.

A = Área a iluminar.

CU = Coeficiente de utilización.

F_m = Factor de mantenimiento.

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l * n}$$

N = Número de luminarias requeridas.

n = Número de bombillas por luminaria.

φ_{tot} = Flujo luminoso total o requerido.

φ_l = Flujo luminoso por bombilla.

$$d = \frac{CU * F_m * \varphi_l}{A * E_m}$$

d = Separación entre lámparas.

En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local como se muestra en la siguiente figura.

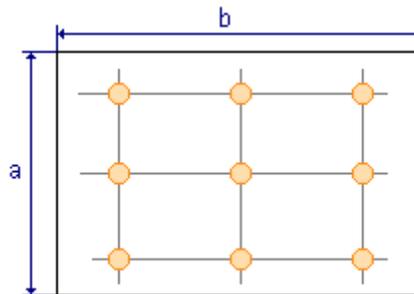


Fig. 4.6 Separación entre luminarias.

Factor de mantenimiento del espacio.

Este factor de mantenimiento es muy importante tenerlo en cuenta para obtener el nivel medio de iluminación. Si no se tiene en cuenta, el cálculo se realiza como si la instalación fuese nueva en todo momento, sin tener en consideración las pérdidas que sufre el sistema.

Este coeficiente dependerá del grado de la suciedad ambiental y frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fig. 4.7 Factor de mantenimiento.

Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo.

El coeficiente de reflexión es la relación entre el rayo incidente y la radiación reflejada por éste en una superficie.

Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Para los cálculos respectivos en nuestra aplicación se hace uso de los valores mostrados en la siguiente figura.

	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Fig. 4.8 Coeficientes de reflexión

Factor de utilización o coeficiente de utilización (CU).

Este es la relación entre el flujo luminoso que incide sobre un plano de trabajo y el flujo luminoso total emitido por una fuente.

Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización									
		Factor de reflexión del techo									
		0.7			0.5			0.3		0	
		Factor de reflexión de las paredes									
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30	
	0.8	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37	
	1.0	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41	
	1.25	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45	
	1.5	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48	
	2.0	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52	
	2.5	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54	
	3.0	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56	
	$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	5.0	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59	

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Fig. 4.9 Factor de utilización (CU), a partir del índice del local y los factores de reflexión.

De las figuras anteriormente presentadas su utilización es la siguiente:

Para determinar el coeficiente de reflexión; se debe conocer el tono o color de acabado en techo y pared en base a esto se determina haciendo uso de la tabla presentada o la que el fabricante proporcione.

El factor de utilización va determinado por los de reflexión e índice de local; como ejemplo en oficinas se determina los factores de reflexión techo color claro su factor de reflexión es 0.7 para pared, en techo se usa color claro 0.5 con un índice de local igual a 1 su factor de utilización seria de 0.52

Para el cálculo de índice de local es necesario conocer las dimensiones del local altura, largo y ancho haciendo uso de la formula previamente mencionada.

A continuación, presentamos una tabla con valores obtenidos en los cálculos correspondientes al circuito de iluminación aplicando las fórmulas y tablas anteriormente presentadas.

Circuito	Descripción	Dimensiones (m)	altura (m)	Iluminación media (Em)	Tipo de lámpara	Sist. Alumbrado	Altura de suspensión (m)	Plano de trabajo (m)	Índice del local (k)	Coeficiente de reflexión		Coeficiente de utilización (CU)	Factor de mantenimiento (Fm)	Flujo luminoso por lámpara (lumen)	Flujo total	Número de luminarias	Watts por luminaria (W)
										Techo	Pared						
H	Oficinas	4a*4l=16m	3.5	300	LED40S	Semidirecta	3	1	1	0.7	0.5	0.52	0.8	4000	4000	3	41
	Recepcion	4a*3l=12m	3.5	200	LED40S	Semidirecta	3	1	1	0.7	0.5	0.52	0.8	4000	4000	2	41
	Cuarto eléctrico	5a*5l=25m	4	300	EVILL5L	Semidirecta	3.5	1	1.25	0.5	0.3	0.51	0.8	5734	5734	4	160
I,J,K,L	Área de llenado	10a*20l=200m	5	750	EVILL11L	Semidirecta	4.5	1	1.9	0.5	0.5	0.625	0.8	10997	10997	27	320
	Bodega	8a*12l=96m	5	300	EVILL5L	Semidirecta	4.5	1	1.3	0.5	0.5	0.59	0.8	5734	5734	11	160
N	Pasillo oficinas	1a*8l=8m	3.5	50	EVILL5L	Semidirecta	3	1	0.44	0.7	0.5	0.38	0.8	5734	5734	1	160
	Corredor Principal	3a*33l=99	5	50	EVILL9Ñ	Semidirecta	4.5	1	0.78	0.7	0.5	0.425	0.8	10313	10313	2	250
	Sanitarios	2a*2l=4	3	300	EVILL5L	Semidirecta	3	1	0.5	0.7	0.5	0.38	0.8	5734	5734	1	160
	Área de tanques	14a*10l=140m		20	EVILL5L	Semidirecta	4	1				0.3	0.6	5734	5734	3	160

Fig. 4.10 Carga instalada en el circuito de iluminación.

La información técnica de lámparas a utilizar la presentamos en la sección de anexos como (ANEXO 4).

Para la figura 4.10 tenemos en la primera columna las derivaciones del circuito de iluminación, seguido su descripción.

En la tercera columna se tiene las dimensiones de cada habitación largo ancho y altura.

En la cuarta columna tenemos la iluminación media que se obtiene de la tabla en la sección de anexos como ANEXO 3.

Tipo de lampara es el modelo a utilizar de luminaria y sus características técnicas las podemos encontrar en la sección de anexos como ANEXO 4

Posterior a esta tenemos sistema de alumbrado donde semidirecto se refiere al alumbrado por medio de luminarias que presentan una distribución de intensidad luminosa tal que la fracción de flujo luminoso que alcanza directamente al plano de trabajo, supuesto indefinido, sea del 60 al 90%.

En la columna seis encontramos a que altura se encontrara cada luminaria.

En la columna siete tenemos la altura del nivel de suelo al plano de trabajo.

Para la columna ocho tenemos el índice de local que se calcula como sigue:

Tomando los valores del primer renglón,

$$k = \frac{(l * a)}{h(l + a)} \quad k = \frac{(4 * 4)}{3.5(l + 4)} = .91$$

Continuando en la siguiente columna determinamos los valores de coeficiente de reflexión usando la figura 4.8. quedando techo 0.7 pared 0.5.

En la columna once tenemos el coeficiente de utilización obtenido de la figura 4.9 de la cual previamente se describió como se usa esta tabla y para este caso CU es de 0.52.

Para la columna doce, factor de mantenimiento tenemos un valor de 0.8 previamente se vio su uso en la figura 4.7.

En la columna trece, flujo luminoso obtenido de las tablas técnicas de cada luminaria y se encuentra en la sección de anexos como ya se mencionó.

Para el cálculo del flujo total requerido tenemos:

$$\varphi_{tot} = \frac{Em * A}{CU * Fm} \quad \varphi_{tot} = \frac{300 * 16}{0.52 * 0.8} = 11538.46$$

Continuando, para el numero de luminarias tenemos:

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l * n} \quad N = \frac{11538.46}{4000 * 1} = 3$$

Por último, los watts por luminaria obtenidos de sus datos técnicos de cada luminaria en sus datos técnicos en la sección de anexos.

Diagrama unifilar circuito de iluminación.

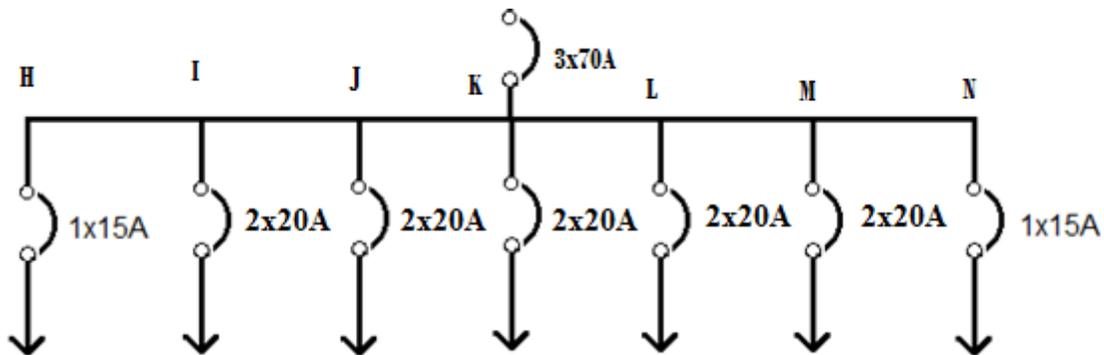


Fig. 4.11 Diagrama unifilar circuito de iluminación.

4.7 Circuito de fuerza e iluminación

A continuación, presentamos en la figura 4.12 las cargas de los circuitos de fuerza e iluminación. La figura en mención fue elaborada con los cálculos realizados para los circuitos de fuerza e iluminación, mostrados en las figuras 4.5 y 4.10.

Previamente vimos cómo se obtiene cada valor de las respectivas figuras.

Toda la tubería y accesorios a utilizar deben ser antiexplosivos y que cumplan con los requerimientos de las Normativas Mexicanas NOM.

Circuito	Descripción	Cantidad	Voltaje (V)	P(W)	Fp	S(VA)	Carga Instalada (VA)	In (A)	Calibre del conductor THHN	Longitud del Circuito (m)	%e	Tubería	Protección	Fd %
A	Compresor	1	220	5595	1	6217	6217	8.8	12	45	2	3/4"	3x15A	80
B	Motor	1	220	746	1	933	933	2.1	12	53	1	3/4"	3x6A	100
C	Contactos Oficinas	8	120			180	1440	12	14	<30	4	3/4"	1x15A	100
D	Contactos Reseccion	4	120			180	720	6	14	<30	3	3/4"	1x15A	100
E	Contactos área de llenado	8	120			180	1440	12	14	<30	4	3/4"	1x15A	100
F	Contactos Bodega	4	120			180	720	6	14	<30	3	3/4"	1x15A	100
G	Contactos Cuarto Eléctrico	4	120			180	720	6	14	<30	3	3/4"	1x15A	100
H	Oficinas	3	120	41	0.95	43.2	129.5	1.1	14	<30	1	3/4"	1x15A	100
	Reseccion	2	120	41	0.95	43.2	86.3	0.7		42m	0	3/4"		100
	Cuarto eléctrico	4	120	160	0.95	168.4	673.7	5.6		32m	3	3/4"		100
I,J,K,L	Área de llenado	27	220	320	0.95	336.8	9094.7	41.3	14	42m	8	1"	2x20A	100
M	Bodega	11	220	160	0.95	168.4	1852.6	8.4	12	32m	2	3/4"	2x20A	100
N	Pasillo oficinas	1	120	160	0.95	168.4	168.4	1.4	14	<30	1	3/4"		100
	Corredor Principa	2	120	250	0.95	263.2	526.3	4.4		40m	3	3/4"		100
	Sanitarios	1	120	160	0.95	168.4	168.4	1.4		<30	1	3/4"		100
	Área de tanques	3	120	160	0.95	168.4	505.3	4.2		45m	3	3/4"	1x15A	100

Fig. 4.12 Carga instalada en el circuito de fuerza e iluminación.

4.8 Cálculo de capacidad de tableros

Para el cálculo de la capacidad del tablero se utiliza DME (Demanda Media Estimada), luego se calcula la corriente nominal.

La DME se obtiene de la sumatoria total de la carga instalada [VA] en el sistema.

Para el cálculo de la corriente nominal de toda la carga instalada. Se utiliza un factor de crecimiento del 20 por ciento de la demanda media estimada, este factor es para la protección del circuito, se calcula como sigue:

$$I_n = \frac{DME + (DME * .20)}{V}$$

Posteriormente se procede al cálculo de la corriente de barra.

$$I_{barra} = 2I_n$$

Con los datos de corriente de barra y el número de espacios necesarios en el tablero, se procede a utilizar cualquier tipo de tablero en el mercado que esté aprobado por normas internacionales.

Para el cálculo de número de espacios necesarios del tablero se aplica un factor de diseño del 25 por ciento adicional, para futuro crecimiento en las instalaciones, como sigue:

$$\begin{aligned} & \# \text{ de espacios actuales} + ((\# \text{ de espacios actuales}) * 25\%) \\ & = \text{total de espacios requeridos} \end{aligned}$$

Los cálculos correspondientes al tablero quedan de la siguiente manera.

$$DME = 24151VA$$

$$I_n = 121.5A$$

$$Ibarra = 243.0A$$

La cantidad de polos es determinada por la cantidad de ITM (Interruptor Termo Magnético) utilizados en el sistema eléctrico, haciendo la suma de los ITM monofásicos y trifásicos, se requiere de un tablero con 27 polos (espacios), se considera el 25% para posible crecimiento de circuitos, por lo que se requiere de un tablero de 33 polos (espacios).

4.9 Cálculo de protección principal

Toda instalación eléctrica para su adecuado funcionamiento, requiere de una protección principal, en caso de que suceda alguna sobrecarga o falla en el sistema eléctrico.

Para el cálculo de la protección principal, se hace uso de la corriente nominal calculada.

$$In = 121.5A$$

Por lo que se utilizara un ITM con el valor más próximo superior a la corriente nominal.

4.10 Cálculo de acometida

Para el cálculo del conductor se debe hacer uso de la tabla que encontraremos en la sección de anexos como ANEXO 5, para el uso de la tabla en mención se tiene, en las primeras dos columnas el calibre del conductor, en la parte superior indica temperatura y tipo de material del conductor, las demás columnas indican la capacidad de corriente soportada en Amperes.

Se seleccionan las características del cable conductor a utilizar; se calculó previamente la corriente nominal del circuito, para este caso las características son: Conductor THHW 75° de cobre, para la corriente nominal de 121.5A, se obtiene conductor de calibre 1.

4.11 Cálculo de acometida por caída de tensión

La longitud del cableado desde el medidor al tablero principal es de 25m. utilizando la formula caída de tensión que hemos utilizado anteriormente y vimos a que corresponde cada símbolo se tiene:

$$S_{cu} = \frac{2cLI}{e\%V} \Rightarrow e\% = \frac{2cLI}{S_{cu}V} \quad e\% = \frac{2 * \sqrt{3} * 25m * 121.5A}{42.4 * 220V} = 1.1\%$$

En la acometida se usan cuatro conductores AWG calibre 1 THNN, tres para las fases y un conductor para neutro.

4.12 Cálculo de la tubería para la acometida

Se sabe que se utilizarán 4 conductores AWG calibre 1, cada uno con una sección transversal de 42.4 milímetros cuadrados, multiplicado por cuatro, se tiene un total de 169.6 milímetros cuadrados. A esta sección calculada se le debe aplicar el factor de relleno en tubos, con base en la tabla que encontraremos en la sección de anexos como ANEXO 6, dice que, para tuberías con una cantidad mayor a dos conductores se tiene un factor del 40 por ciento. Utilizando la formula siguiente tenemos que:

$$A = \frac{a}{F} \quad A = \frac{169.6mm^2}{.40} = 424mm^2$$

Donde

A = Área interior del tubo en mm².

$a = \text{área total de conductores.}$

$F = \text{Factor de relleno.}$

Teniendo como valor mayor mas próximo 526mm^2 El cual corresponde a una tubería $1\frac{1}{2}$ pulgadas.

4.13 Material a utilizar para el diseño de la instalación eléctrica

Todos los equipos y materiales deben ser antiexplosivos para protegerse de las zonas o áreas donde puedan existir o producirse atmosferas explosivas. La instalación eléctrica, interruptores, arrancadores, cajas, tuberías, motor, cableado y accesorios; deben ser acordes a la zona de riesgo en la cual estarán instalados según la clasificación de las áreas de riesgos de explosión. Todo el material y equipo a utilizar en el diseño eléctrico de una planta de llenado en aerosol con propelente debe cumplir con las normas mexicanas.

Sistema de tubería para el alambrado.

Cuando se realiza la instalación utilizando el sistema de tuberías, esta se conecta por medio de cajas antiexplosivas, uniones y sellos. El sistema completo es a prueba de explosión.



Fig 4.13 Caja a prueba de explosión.

En los lugares de Clase I, División 1 y 2, para la instalación, todas las cajas, accesorios y elementos de unión deben estar roscados para conectarlos a los tubos y deben ser antiexplosivos. Las juntas roscadas deben tener, por lo menos, cinco roscas que queden completamente metidas.

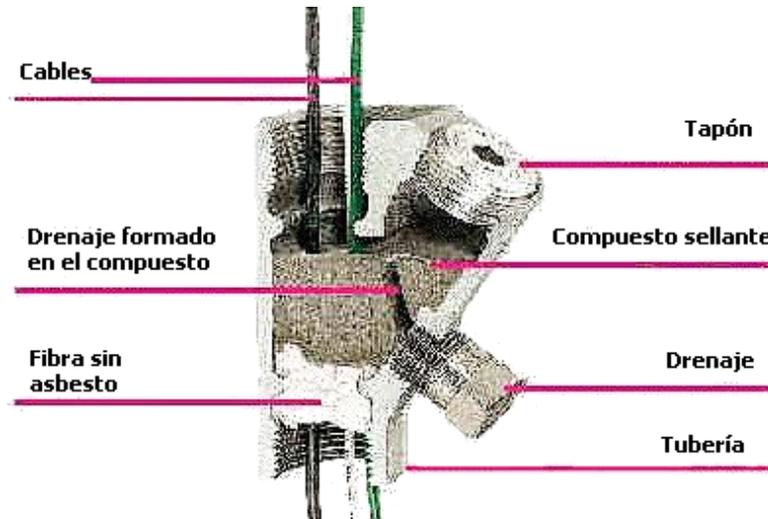


Fig. 4.14 Sello anti explosión.

Los sellos deben ser instalados lo más cercanos a la envolvente de interruptores, interruptores automáticos, fusibles, relés, resistencias u otros equipos que puedan producir arcos eléctricos, chispas o altas temperaturas en condiciones normales de funcionamiento, a una distancia no mayor a 45 centímetros (artículo 501.10, NEC 2014).

4.14 Sistema de tierra física

Un sistema de puesta a tierra, o simplemente tierra física, es un conjunto de elementos formados por electrodos, cables, conexiones, platinas y líneas de tierra física de una instalación eléctrica, que permiten conducir, drenar y disipar al planeta tierra una corriente no deseada.

Los conductores de puesta a tierra, del electrodo de puesta a tierra y puentes de unión se deben conectar mediante uno de los siguientes medios:

- (1) Conectores a presión.
- (2) Barras terminales.
- (3) Conectores a presión aprobados para puesta a tierra de equipos y para unión.
- (4) Procesos de soldadura exotérmica.
- (5) Abrazaderas tipo tornillo que enrosquen por lo menos dos hilos o que se aseguren con una tuerca.
- (6) Pijas que entren cuando menos dos hilos en la envoltura.
- (7) Conexiones que son parte de un ensamble.

La trayectoria a tierra desde los circuitos, equipo y cubiertas metálicas de conductores deben cumplir los siguientes puntos:

- (1) Que sea permanente y eléctricamente continua.
- (2) Que tenga capacidad suficiente para conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica de falla que pueda producirse.
- (3) Que tenga impedancia suficientemente baja para limitar la tensión eléctrica a tierra y facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección del circuito.
- (4) El terreno natural no se debe utilizar como el único conductor de puesta a tierra de los equipos.

Idealmente, una conexión a tierra debe tener una resistencia de cero ohmios. La NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 Ohms o menos. En México, la secretaria del Trabajo y Previsión Social en su norma NOM-STPS-022-2008 indica lo siguiente: "Asegúrese de que la resistencia para Sistema de Tierras sea menor a 10 Ohms y para sistema de Pararrayos menor a 25 Ohms. La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohmios o menos como su valor para conexión a tierra. El objetivo es lograr el mínimo valor de resistencia".

La NOM 001-SEDE-2012 tienen una tabla bajo la cual se deberá calcular el conductor de puesta a tierra de las acometidas, alimentadores y ramales, esta se muestra en la siguiente figura.

Tamaño del mayor conductor de entrada a la acometida o área equivalente para conductores en paralelo ^a				Tamaño del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Aluminio		Cobre		Aluminio ^b	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
33.6 o menor	2 o menor	53.50 o menor	1/0 o menor	8.37	8	13.3	6
42.4 o 53.5	1 o 1/0	67.40 o 85.00	2/0 o 3/0	13.3	6	21.2	4
67.4 o 85.0	2/0 o 3/0	107 o 127	4/0 o 250	21.2	4	33.6	2
Más de 85.0 a 177	Más de 3/0 a 350	Más de 127 a 253	Más de 250 a 500	33.6	2	53.5	1/0
Más de 177 a 304.0	Más de 350 a 600	Más de 253 a 456	Más de 500 a 900	53.5	1/0	85.0	3/0
Más de 304 a 557.38	Más de 600 a 1100	Más de 456 a 887	Más de 900 a 1750	67.4	2/0	107	4/0
Más de 557.38	Más de 1100	Más de 887	Más de 1750	85.0	3/0	127	250

Fig. 4.15 Calcular el conductor de puesta a tierra.

De la figura 4.15 obtenemos el valor del conductor puesto a tierra, conociendo que el tamaño del mayor conductor en nuestro sistema eléctrico es calibre 1 de cobre, observando la figura en la sección izquierda, cobre, AWG o kcmil que corresponde a las características de nuestro conductor, en su lado derecho muestra el calibre del conductor para el material cobre y aluminio que en este caso es cobre y por lo tanto el conductor de puesta a tierra es 6 AWG.

Para determinar el calibre del conductor de tierra, de acuerdo a la capacidad o ajuste del dispositivo de protección contra sobre corriente del circuito involucrado, colocado antes de equipos y canalizaciones, es decir, si tenemos en una derivación de circuito una protección ITM de 15A el conductor de puesta a tierra deberá ser calibre 14 de cobre, para uno ITM de 200A cable de aluminio sería un conductor calibre 4 de aluminio.

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc.	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de Cobre	Cable de aluminio
(A)		
15	2.082 (14)	-
20	3.307 (12)	-
30	5.26 (10)	-
40	5.26 (10)	-
60	5.26 (10)	-
100	8.367 (8)	13.3 (6)
200	13.3 (6)	21.15 (4)
300	21.15 (4)	33.62 (2)
400	33.62 (2)	42.41 (1)
500	33.62 (2)	53.48 (1/0)
600	42.41 (1)	67.43 (2/0)
800	53.48 (1/0)	85.01 (3/0)
1000	67.43 (2/0)	107.2 (4/0)
1200	85.01 (3/0)	126.7 (250)
1600	107.2 (4/0)	177.3 (350)
2000	126.7 (250)	202.7 (400)
2500	177.3 (350)	304 (600)
3000	202.7 (400)	304 (600)
4000	253.4 (500)	405.37 (800)
5000	354.7 (700)	608 (1200)
6000	405.37 (800)	608 (1200)

Fig 4.16 Sección transversal mínima de los conductores de puesta a tierra para canalización y equipos.

En operaciones de carga y descarga de líquido inflamable, donde exista el peligro de producirse una explosión, se utiliza una unidad de puesta a tierra como la GRD 4200. Su funcionamiento se basa en el sistema de medición continua de los valores de tierra (resistencia y capacidad) para garantizar una correcta puesta a tierra, un correcto control de la bomba de carga y descarga.

La resistencia a tierra puede variar con los cambios en el clima y la temperatura. Tales cambios pueden ser considerables. Un electrodo de tierra que fue bueno o de baja resistencia cuando se instaló, puede dejar de serlo; para asegurarse, debe ser revisado periódicamente, para evitar que la resistencia de tierra llegue a su valor máximo de 25 ohmios según la normativa.

RESUMEN.

En el capítulo uno vimos la clasificación de materiales eléctricos destinados a las atmosferas explosivas y algunos de los materiales utilizados en ellas.

Para el capítulo dos vimos normas nacionales e internacionales aplicables a las áreas con atmosfera explosiva, tales como la NOM 001-SEDE-2012 en su sección plantas de almacenamiento de combustibles, como sucede en empresas dedicadas al llenado de aerosol con propelentes, también tratamos la correcta clasificación de las áreas peligrosas, dependiendo del material que se maneje o procese en el lugar, con base en normas internacionales como el Código Eléctrico Nacional (NEC) artículo 500, IEC 60079-10 y la NOM 001-SEDE-2012. Para realizar diseños de instalaciones eléctricas.

En el capítulo tres vimos información general de los fenómenos que propician la explosión con gases propelentes, los riegos eléctricos que se tienen presentes en ATEX.

Por último, en el capítulo cuatro vimos las clasificaciones de áreas en el llenado de aerosol con gas propelente, cálculos esenciales para la selección de equipos acorde al área; cálculo de conductores, tubería, protecciones, acometida etc.

CONCLUSIONES

En toda empresa es importante el cumplimiento de normativas para su uso en atmósferas explosivas, esto evitará riesgos en sus procesos, previniendo pérdidas económicas y humanas.

Para cada caso particular se debe revisar que normativas se aplican en sus procesos e instalaciones; para casos específicos; es deber del encargado del proyecto revisar las normativas que aplican.

Con el uso de la ingeniería, se pueden reducir costos de las instalaciones, disminuyendo el uso de equipos especiales, al reducir las áreas de riesgo con un buen diseño, no obstante, el reducir los riesgos es responsabilidad del instalador, también del fabricante y del operador.

Aun cumpliendo con las normativas aplicables a atmósferas explosivas, es indispensable recomendar e implementar programas de inspección y mantenimiento periódico de instalaciones en lugares clasificados como peligrosos.

El no tomar en cuenta las normativas pertinentes pone en riesgo instalaciones y personal en dichos lugares.

El usuario es un factor importante en la previsión de riesgos; por lo que es de vital importancia su capacitación adecuada en uso de equipos e instalaciones.

CONCLUSIONES

El objetivo de esta tesis fue el presentar la información fundamental para la implementación de instalaciones eléctricas en ambientes explosivos donde se trabaje con gas propelente, por lo tanto, este trabajo representa un primer recurso o acercamiento en esta materia.

Cada instalación eléctrica en este tipo de ambientes cuenta con sus propias particularidades y desafíos por lo tanto es muy difícil abarcar todo en un solo documento. En este trabajo se presenta un caso práctico de una instalación eléctrica en un ambiente explosivo por lo que se puede utilizar como guía o referencia para llevar a cabo una instalación similar.

En este trabajo se contempla desde la selección de materiales esenciales como el tipo de tubería, el tamaño, así como el material de fabricación, otro aspecto importante es conocer las normas de protección, (nacionales e internacionales), así como la clasificación de las áreas o ambientes explosivos ya que de ello depende las medidas de protección que por ley deben cumplir este tipo de instalaciones.

Además, cuando se trabaja con sustancias o materiales explosivos es importante conocer cómo se comportan a fin de prevenir posibles accidentes en caso de presentarse problemas e incidentes en ese aspecto este trabajo explica en gran medida las características, tipos de gases y los diferentes tipos de fuentes de ignición que pueden estar presentes en una instalación eléctrica con el fin de detectarlas o evitar problemas.

Finalmente se presentan los cálculos y operaciones esenciales de manera sencilla para que pueden ser usados en este tipo de instalaciones aun si ser un experto o especialista.

Este trabajo representa parte de la experiencia que hemos adquirido en el ejercicio de nuestra profesión y es expuesta aquí para contribuir a la difusión de esta información, presentarla de una manera que pueda ser consultada rápidamente y ser usada incluso como guía para aquellos que se inician o estén interesados en este campo.

ANEXOS

ANEXO 1 Plantas de almacenamiento de combustibles.

Artículo 515 de NOM-001 SEDE-2012.

Este artículo cubre un predio o parte de él donde se reciben líquidos inflamables de buques cisterna, tuberías, carros tanque o vehículos con tanque, y se almacenan o mezclan con el fin de distribuir tales líquidos mediante buques cisterna, tuberías, carros tanque o vehículos con tanque, tanques portátiles o contenedores para la clasificación eléctrica de áreas es necesario utilizar la siguiente tabla.

Tabla 515-3 Clasificación eléctrica de las áreas

Lugar	NOM Clase I, División	Zona	Extensión del área clasificada
Equipo interior cuando puedan existir mezclas inflamables de aire - vapor bajo funcionamiento normal.	1	0	La totalidad del área asociada con dicho equipo cuando hay gases o vapores inflamables continuamente o por largos periodos de tiempo.
	1	1	Área dentro de 1.50 metros de cualquier borde de tal equipo, que se extiende en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 1.5 y 2.5 metros de cualquier borde de tal equipo, que se extiende en todas las direcciones; también el espacio hasta 90 centímetros por encima del piso o el nivel del suelo desde 1.50 hasta 7.50 metros horizontalmente desde cualquier borde del equipo. ¹
Equipo exterior cuando pueda haber mezclas inflamables de aire - vapor bajo funcionamiento normal.	1	0	La totalidad del área asociada con dicho equipo cuando hay gases o vapores inflamables continuamente o por largos periodos de tiempo.
	1	1	Área dentro 90 centímetros de cualquier borde de tal equipo, que se extiende en todas las direcciones.

Lugar	NOM Clase I, División	Zona	Extensión del área clasificada
	2	2	Área entre 90 centímetros y 2.50 metros de cualquier borde de tal equipo, que se extiende en todas las direcciones; también el espacio hasta 90 centímetros por encima del piso o el nivel del suelo desde 90 centímetros hasta 3.00 metros horizontalmente desde cualquier borde del equipo
Instalaciones de tanques de almacenamiento dentro de edificios	1	1	Todo el equipo localizado debajo del nivel del suelo.
	2	2	Cualquier equipo localizado en o por encima del suelo .
Tanque - sobre el suelo	1	0	Interior del techo fijo del tanque.
	1	1	Área dentro del dique, en donde la altura del dique es mayor que la distancia desde el tanque hasta el dique por más del 50 por ciento de la circunferencia del tanque.
Casco, extremos o techo del tanque y área del dique	2	2	Dentro de 3.00 metros desde el casco del tanque, los extremos o el techo del tanque. También el área dentro del dique hasta el nivel superior de la pared del dique.
Ventilación	1	0	Área dentro de la abertura o tubería de ventilación.
	1	1	Área dentro de 1.50 metros del extremo abierto de la ventilación, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 1.50 y 3.00 metros desde el extremo abierto de ventilación, extendiéndose en todas las direcciones.
Techo flotante con techo exterior fijo	1	0	Área entre las secciones del techo flotante y el techo fijo y dentro del casco del tanque.
Techo flotante sin techo exterior fijo	1	1	Área por encima del techo flotante y dentro del casco del tanque.
Abertura para llenado del tanque subterráneo	1	1	Cualquier foso o espacio bajo el nivel del suelo, si cualquier parte está dentro de un lugar clasificado como División 1 ó 2 o Zona 1 ó 2.
	2	2	Hasta 45 centímetros sobre el nivel del suelo, dentro de un radio horizontal de 3.00 metros desde cualquier conexión de llenado floja y dentro de un radio horizontal de 1.50 metros desde una conexión de llenado apretada.

Lugar	NOM Clase I, División	Zona	Extensión del área clasificada
Ventilación - Descargando hacia arriba	1	0	Área interior de la abertura o tubería de ventilación.
	1	1	Hasta 90 centímetros del extremo abierto de ventilación, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 90 centímetros y 1.50 metros del extremo abierto de ventilación, extendiéndose en todas las direcciones.
Llenado de tambores de 200 litros y contenedores – en exteriores o interiores	1	0	Área dentro del tambor o contenedor.
	1	1	Dentro de 90 centímetros de las aberturas de ventilación y llenado, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 90 centímetros y 1.50 metros desde la abertura de ventilación o llenado, extendiéndose en todas las direcciones. Además, hasta 45 centímetros sobre el piso o el nivel del suelo dentro de un radio horizontal de 3.00 metros desde las aberturas de ventilación o llenado.
Bombas, purgadores, accesorios de vaciado,			
En el interior	2	2	Dentro de 1.50 metros de cualquier borde de estos dispositivos, extendiéndose en todas las direcciones. Además, hasta 90 centímetros sobre el nivel del piso o suelo, y dentro de 7.50 metros horizontalmente desde cualquier borde de tales dispositivos.
En el exterior	2	2	Dentro de 90 centímetros de cualquier borde de estos dispositivos, extendiéndose en todas las direcciones. Además hasta 45 centímetros sobre el nivel del suelo y dentro de 3.00 metros horizontalmente desde cualquier borde de tales dispositivos.
Fosos y sumideros			
Sin ventilación mecánica	1	1	Toda el área dentro del foso o sumidero si cualquier parte está dentro de un lugar clasificado como División 1 o 2, o Zona 1 o 2.
Con ventilación mecánica adecuada	2	2	Toda el área dentro del foso o sumidero si cualquier parte está dentro de un lugar clasificado como División 1 o 2, o Zona 1 o 2.
Que contengan válvulas, accesorios o tuberías y no estén dentro de un lugar	2	2	Todo el foso o sumidero.

Lugar	NOM Clase I, División	Zona	Extensión del área clasificada
clasificado de la División 1 o 2, o Zona 1 o 2.			
Zanjas de drenaje, separadores, fosa de contención.			
En el exterior	2	2	Área hasta 45 centímetros sobre la zanja, separador o fosa. Además, área hasta 45 centímetros sobre el nivel del suelo, y hasta 4.50 metros horizontalmente desde cualquier borde.
En el interior			Misma clasificación que para los fosos.
Carga de camiones cisterna y vagones cisterna ² por el domo abierto.	1	0	Área dentro del tanque
	1	1	Hasta 90 centímetros del borde del domo, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 90 centímetros y 4.50 metros desde el borde del domo, extendiéndose en todas las direcciones.
Carga a través de conexiones en el fondo del tanque con ventilación atmosférica	1	0	Área dentro del tanque
	1	1	Hasta 90 centímetros del punto de ventilación a la atmósfera, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 90 centímetros y 4.50 metros desde el punto de ventilación a la atmósfera, extendiéndose en todas las direcciones. Además, hasta 45 centímetros sobre el suelo dentro de un radio horizontal de 3.00 metros desde el punto de conexión de carga.
Oficinas y cuartos de baño	No clasificado		Si en estos cuartos hay alguna abertura dentro de la extensión de un lugar interior clasificado, el cuarto se debe clasificar lo mismo que si la pared, reborde o tabique no existieran.
Carga a través de domo cerrado con ventilación atmosférica	1	1	Hasta 90 centímetros del extremo abierto de ventilación, extendiéndose en todas las direcciones.
	2	2	Área entre 90 centímetros y 4.50 metros desde el extremo abierto de ventilación, extendiéndose en todas las direcciones. Además hasta 90 centímetros del borde del domo extendiéndose en todas las direcciones.

Lugar	NOM Clase I, División	Zona	Extensión del área clasificada
Carga a través de domo cerrado con control de vapores	2	2	Hasta 90 centímetros del punto de conexión de las líneas tanto de llenado como de vapor, extendiéndose en todas las direcciones.
Carga por el fondo del tanque con control de vapor y cualquier descarga por el fondo del tanque.	2	2	Hasta 90 centímetros del punto de conexión, extendiéndose en todas las direcciones. Además, hasta 45 centímetros sobre el suelo dentro de un radio horizontal de 3.00 metros desde el punto de conexión.
Almacenamiento y taller de reparación de camiones cisterna	1	1	Todos los fosos o espacios bajo el nivel del piso.
	2	2	Área de hasta 45 centímetros sobre el nivel del piso o del suelo en todo el garaje de almacenamiento o taller.
Garajes para vehículos diferentes de camiones cisterna	No clasificado		Si en estos cuartos hay alguna abertura dentro de la extensión de un lugar exterior clasificado, todo el cuarto se debe clasificar igual que la clasificación del área en el punto de la abertura.
Almacenaje exterior de barriles	Clasificado		
Recintos internos o casilleros de almacenamiento usados para el almacenamiento de líquidos de Clase I	2	2	Todo el recinto.
Almacenamiento interior cuando no hay transferencia de líquidos inflamables	No clasificado		Si hay cualquier abertura hacia estos cuartos dentro de la extensión de un lugar interior clasificado, el cuarto se debe clasificar lo mismo que si la pared, reborde o tabique no existieran.

ANEXO 2 Datos técnicos.

Datos de los equipos a utilizar.

Compresor de Aire de Tornillo Rotativo					
Modelo	HP	Voltaje/fases	I nominal	RP M	F.p.
SX 7.5	7.5	208- 230/440V	8.8A	360 0	0.89

Motor a prueba de explosión SIMOTICS rotor de aluminio División 1, Clase I, Grupo C & D, Factor de servicio de 1.0, a 40°C ambiente					
Modelo	HP	Voltaje/fases	I nominal	RP M	F.p.
1MB21211CD114A G3	1	208- 230/440V	2.1 A	90 0	81.5 %

ANEXO 3. Niveles de iluminación NOM 025-STPS-2008.

En esta tabla solamente se hace mención de los niveles de iluminación utilizados para los cálculos en la aplicación de nuestro caso en particular, para más detalles se puede consultar la norma mencionada.

NIVELES DE ILUMINACIÓN		
Tarea Visual del puesto de trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En Interiores	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300

ANEXO 4. Características eléctricas de luminarias utilizadas.

Parámetros Eléctricos:

	EVLL5L	EVLL7L	EVLL9L	EVLL11L	EVLL13L
Voltaje de alimentación, VCA	120-277	120-277	120-277	120-277	120-277
Frecuencia	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Potencia de entrada (W)	56	85	115	112	149
Corriente de entrada a 100-277 VCA	0.47-0.21	0.72-0.32	0.96-0.42	0.94-0.41	1.25-0.54
Voltaje de alimentación, VCD	108-250	108-250	108-250	108-250	108-250
Corriente de entrada a 108-250 VCD	0.53-0.23	0.81-0.35	1.08-0.46	1.07-0.45	1.43-0.60
Factor de potencia	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95	>0.95
Lúmenes nominales	5,734	8,293	10,313	10,997	13,583

<i>Descripción de producto</i>	<i>Potencia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Eficacia Unidad</i>	<i>IRC</i>
	W	lm	lm/W	
WT120C LED18S/840 PSU L600	19	1800	95	>=80
WT120C LED22S/840 PSU L1200	23	2200	96	>=80
WT120C LED40S/840 PSU L1200	41	4000	98	>=80
WT120C LED34S/840 PSU L1500	29	3400	117	>=80
WT120C LED60S/840 PSU L1500	57	6000	105	>=80

ANEXO 5. Ampacidades permisibles en conductores.

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG kcmil			TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS,			
			TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		TIPOS TW, UF	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE	
0.824	18**	—	—	14	—	—	—
1.31	16**	—	—	18	—	—	—
2.08	14**	15	20	25	—	—	—
3.31	12**	20	25	30	—	—	—
5.26	10**	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

(Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

ANEXO 6. Factor de relleno en tubos.

Dimensiones de tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado y ligero y área disponible para los conductores.

Tamaño nominal mm	Diámetro interior mm	Área interior total mm ²	Área disponible para conductores mm ²		
			Uno conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de dos conductores fr = 40%
16 (1/2)	15,8	196	103	60	78
21 (3/4)	20,9	344	181	106	137
27 (1)	26,6	557	294	172	222
35 (1-1/4)	35,1	965	513	299	387
41 (1-1/2)	40,9	1313	697	407	526
53 (2)	52,5	2165	1149	671	867
63 (2-1/2)	62,7	3089	1638	956	1236
78 (3)	77,9	4761	2523	1476	1904
91 (3-1/2)	90,1	6379	3385	1977	2555
103 (4)	102,3	8213	4349	2456	3282
129 (5)	128,2	12907	6440	4001	5163
155 (6)	154,1	18639	9879	5778	7456

GLOSARIO.

ATEX	Atmosfera Explosiva.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
EPL	Equipment Protection Levels.
ESD	Descarga electrostática.
HDSM	Hoja de datos de seguridad de materiales.
IEC	Comisión Internacional de Electrotecnia.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
LSE	Límite superior de explosividad.
LFMN	Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.
LIE	Límite inferior de explosividad.
MIC	Razón de corriente de ignición mínima.
MSEG	Separación de seguridad experimental máxima.
NEC	Código Eléctrico Nacional.
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
NOM	Normas Oficiales Mexicanas.
NMX	Normas Mexicanas.
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
P.I.	Punto de inflamación.
STPS	Secretaría del trabajo y previsión social.
SEDG	Secretaría de energía y distribución de gases.

BIBLIOGRAFÍA.

- El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales, Gilberto Enríquez Harper, Editorial Limusa, 2005.
- Guía para el cálculo de instalaciones eléctricas, Gilberto Enríquez Harper, Editorial Limusa.
- Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño, N. Bartu E. Campero, Alfaomega grupo editor.
- NOM-001-SEDE-2012.
- International Electrotechnical Commission (IEC) 60079-10).
- National Electric Code (NEC) 2014.
- El libro del gas, Honeywell 2013.
- Aerosol la revista, aerosollarevista.com.
- Diseño de instalaciones eléctricas, Ing. Jorge de la Rosa Fernández, 2001.
- Guía de diseño de instalaciones eléctricas según normas internacionales IEC.
- NRF-048-PEMEX-2014.
- NOM-EM-004-SEDG-2002.
- Guía técnica para la seguridad y salud en atmósferas explosivas CEPYME.