

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN
PARA LA SEGURIDAD EN UN CALDERO INDUSTRIAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

FREDDY RAFAEL ORIHUELA LÓPEZ

PROMOCIÓN

2004 - I

LIMA – PERÚ

2010

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN PARA LA
SEGURIDAD DE UN CALDERO INDUSTRIAL**

Dedicatoria

A mis padres que siempre estuvieron a mi lado y me brindaron todo su apoyo. A mis hermanas Gaby y Karina y a mis sobrinas Nicoll y Yasmin.

SUMARIO

El siguiente trabajo nos propone una alternativa para la supervisión de una Caldera Industrial en la cual un trabajador esta expuesto a riesgos de diferentes tipos de gases en la Industria, mediante un sistema de monitoreo de gases.

La importancia de esto surge porque como se sabe hoy en día en el Perú y en diversas partes del mundo cada país trata de crecer mas y como todo tiene un costo, en este caso las industrias quieren seguir en competencia y superarse mas estas aumentan mas su infraestructura y maquinarias haciendo que con ello aumente también la contaminación ambiental haciendo que nuestro planeta Tierra sea cada vez mas vulnerable en su capa de Ozono debido al aumento de la contaminación producida por las Industrias.

Aun aquí en el Perú no se esta obligando de manera estricta a las Industrias para que sigan estándares y niveles permisibles que hagan que estas reduzcan las emanaciones de gases y polvos contaminantes. Estándares como ANSI, OSHA, NIOSH (Normas Americanas) regulan y dan niveles permisibles para la Seguridad en un ambiente de trabajo.

Se sabe que en la Industria Minera se obliga a estas a mantener niveles de emisión fijos y permisibles que no afecten a la persona humana; estas cada cierto tiempo (1 ó 2 veces al año son auditadas por entidades del gobierno) obligándolas a reducir sus niveles de gases si están elevados y sancionándolas en caso incumplan con no hacer caso, pero aun en nuestra Industria no se obliga a las demás tipos de industrias a tratar de mantener estándares de niveles de emanación de gases perjudiciales para la salud y vida humana.

ÍNDICE

Introducción	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INGENIERÍA	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Evaluación del problema.....	3
1.4 Dificultades en el monitoreo.....	4
1.5 Síntesis del trabajo.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Caldera.....	6
2.1.1 Elementos y partes de una caldera.....	7
2.1.2 Regulación y eficiencia.....	7
2.2 Tamaños de calderas.....	8
2.3 Usos del vapor producido.....	9
2.4 Diseño de la caldera.....	9
2.5 Tipos de caldera.....	10
2.5.1 Calderas de centrales termoeléctricas.....	10
2.5.2 Con hogar mecánico.....	10
2.5.3 Calderas industriales.....	10
2.6 Principales sistemas de combustión.....	11
2.6.1 Hogares mecánicos.....	11
2.6.2 Quemadores.....	11
2.7 Combustión.....	11
2.7.1 Elementos principales de la combustión.....	11
2.7.2 Reacciones químicas en una combustión.....	12
2.7.3 Tipos de combustión.....	12
2.7.4 Control de una combustión.....	13
2.7.5 Control de nivel.....	13

2.8 Seguridad de la llama.....	14
2.9. Operación del caldero.....	15
2.9.1 Análisis de la secuencia del encendido del caldero.....	15
CAPÍTULO III	
MONITOREO DE GASES.....	20
3.1 Monitoreo.....	20
3.2 Variables de monitoreo.....	21
3.2.1 Densidad de vapor.....	21
3.2.2 Presión de vapor.....	22
3.2.3 Solubilidad en el agua	22
3.2.4 Temperatura ambiental.....	22
3.2.5 Dirección del viento.....	23
3.2.6 Humedad relativa.....	23
3.3 Concentración de gases.....	23
3.3.1 Conductividad térmica.....	24
3.4 Tipos de sensores.....	25
3.4.1 Sensores electroquímicos.....	26
3.4.2 Sensores catalíticos.....	28
3.4.3 Sensores infrarrojos.....	30
3.4.4 Detectores de fotoionización.....	33
3.5 Monitoreo estacionario de gases tóxicos.....	34
3.5.1 Monitoreo de gases tóxicos.....	34
3.6 Monitoreo de gases combustibles.....	35
3.7 Detectores de llama.....	35
3.8 Límites permisibles de los gases.....	38
3.9 ¿Cuándo se deben calibrar los instrumentos portátiles?.....	39
3.10 Guía para seleccionar el lugar de ubicación de los sensores.....	40
3.11 Clasificación de áreas peligrosas.....	42
3.11.1 Clasificación de área.....	43
3.11.2 Aprobaciones para instalaciones de sistemas.....	43
3.12 Clasificación de temperaturas.....	47
3.13 Monitoreo en la sala de calderos.....	47
3.14 Sistema de detección de gases.....	49
3.15 Tipo de comunicación en la supervisión.....	51

CAPÍTULO IV	
NORMAS DE SEGURIDAD EN CALDERAS.....	56
4.1 Normas.....	56
4.2 ¿Qué ofrecen las normas y estándares?.....	56
4.3 Aplicación de normas y estándares.....	57
4.4 Historia de los estándares de seguridad.....	57
4.5 Normas de calderas.....	58
4.6 Sistemas de seguridad.....	59
4.6.1 Introducción.....	59
4.7 Diseño de los sistemas de seguridad.....	59
4.7.1 Consideraciones generales.....	59
4.7.2 Sistema de control versus sistema de seguridad.....	60
4.8 Sistema de control de sistema de seguridad.....	63
CAPITULO V	
DEFINICIONES.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
ANEXO A	69
Grados de protección de equipos e interferencias de gases.....	
ANEXO B	77
Características técnicas de conexión de sensores y barrera zener.....	
BIBLIOGRAFIA.....	82

INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento de todos hoy en día la seguridad de la persona es y ha sido por siempre importante en todo centro de trabajo, en los hogares, en centros de estudios de diversión entre otros.

El presente informe se basa fundamentalmente en la Seguridad Industrial para la persona humana; ya que como veremos la intoxicación ya sea por nuestros cinco sentidos (vista, oído, olfato, gusto y el tacto) posibles medios por donde podemos fácilmente ser expuestos a agentes contaminantes y dañinos para la persona humana si no se usan los debidos equipos adecuados para protegernos al entrar a un ambiente donde se tiene conocimiento que hay algún agente perjudicial para la salud de la persona.

El sistema de monitoreo que se presentara es con referencia a un Caldero Industrial a gas en el cual se deberá de monitorear las concentraciones de CO, CO₂ y O₂ en tal sentido cuando se presente una elevación por encima de los límites permisibles de los gases CO y CO₂ y los gases combustibles existentes en toda caldera ya sea que puedan producir daño a la producción y a la persona humana estos serán controlados mediante un sistema de control ON-OFF el cual al activarse las alarmas de CO ó CO₂ automáticamente deben de accionarse unos extractores de aire de potencia para poder regular las concentraciones de gases (CO y CO₂) en el ambiente de área de trabajo ya que estos gases tóxicos son dañinos para la salud. Por otro lado se deberá de monitorear la concentración también de gases combustibles ya que también puede ocurrir la posibilidad de que ocurra una explosión al alcanzar ciertos niveles altos de explosividad.

El monitoreo de Oxígeno debe de ser considerado importante ya que puede que ocurra una deficiencia de oxígeno (menor que 19,5%) y sean reflejados en forma directa sobre la salud de los trabajadores de dicha área. Adicionalmente como el Oxígeno es indispensable para que haya una combustión con cualquiera de los gases este siempre está presente en el ambiente. Todas las concentraciones medidas por los sensores serán reflejados en cada uno de sus paneles propios de cada detector de gas además de ser visualizados en un monitor remoto ubicado en una sala de control. Por otro lado como el control es un control que indica niveles altos y bajos de concentraciones de gases; en esta área se ubicaran

extractores de aire para mantener dicha zona lo mas limpia posible de dichos gases y evitar asi que se eleven las concentraciones de los gases producidas en el caldero y detectadas por los sensores ahora cada uno de los diferentes sensores al detectarse una elevación de cualquiera de los sensores instalados en el área del caldero activaran unas alarmas visuales audibles; dichos sensores deben de cumplir los requerimientos adecuados necesarios y mínimos para monitoreo de gases en un área determinada la cual estará dada básicamente por ANSI, OSHA, NIOSH (Normas Americanas), entre otras y que están de acuerdo a las Normas Peruanas dadas para monitoreo en la Industria.

Otro alcance que se quiere hacer con este informe es dar a conocer algunos conocimientos adquiridos durante la trayectoria profesional todo enfocado en lo que es principalmente la seguridad en un ambiente cotidiano de trabajo en el que se requiere sea un aire casi limpio para trabajar. Se dará a conocer también algunas Normas esenciales y preponderantes a tener en cuenta cuando se quiere realizar trabajos eventuales en un Caldero.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INGENIERIA

1.1. Descripción del Problema

Monitorear la sala de calderos, mediante un conjunto de sensores configurados para diversos tipos de gases que son perjudiciales para la salud de la persona además también monitorear la concentración de gas combustible a usar (en este caso gas natural).

1.2. Objetivo

El objetivo principal del presente trabajo es determinar y monitorear la cantidad de gases presentes en una planta industrial específicamente un caldero ya sea las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), el Dióxido de Carbono (CO₂), Oxígeno (O₂) entre otros gases tóxicos perjudiciales para la salud de la persona y el medio ambiente, además de verificar el nivel de explosividad del combustible a usar (gas natural) en el Caldero.

1.3. Evaluación del problema

Mediante el presente trabajo se dará a conocer más acerca de lo perjudicial que puede ser los diferentes tipos de gases y vapores que se generan en la industria en general y proponer una alternativa de la manera como se puede supervisar y monitorear dicha área y de acuerdo a las mediciones obtenidas en un lapso de tiempo ya sean días ó meses, ver que tan peligroso es el ambiente al momento de entrar a esta área, o en su defecto ver la posibilidad de entrar con implementos de seguridad (EPP) adecuados para que no afecten nuestra salud ni la del trabajador además de tratar de cuidar el medio ambiente. Las concentraciones de los gases a monitorear estarán visualizados mediante detectores de gases ubicados en lugares estratégicos para poder determinar si el lugar de trabajo es el adecuado para que personal de mantenimiento pueda realizar su trabajo de manera confiable y segura; por otro lado estos estarán además siendo monitoreados desde una sala de control remota desde la cual se podrá visualizar dichas concentraciones en un panel. Las características de los sensores debe ser tal que sea la adecuada para resistir las inclemencias del ambiente donde se va a monitorear para lo cual se hará una evaluación previa para determinar el tipo y características de los sensores a colocar; estos deben de cumplir las normas y requisitos mínimos para que no pueda ocurrir ningún peligro de

explosión, envenenamiento o perjudiciales para la salud y seguridad humana. Es necesario que los equipos a utilizar para realizar el monitoreo sean confiables y calibrados por personal calificado que preste servicio ante cualquier falla de uno de los sensores o monitores utilizados.

1.4. Dificultades en el monitoreo

Uno de los principales obstáculos para el monitoreo es la ventilación del área, la temperatura que será un factor preponderante para la medición, las concentraciones de los gases, el tiempo de exposición a los gases, entre otros que describiremos en el transcurso del desarrollo del tema. La adecuada ventilación hará que los sensores duren más tiempo y no se descalibren continuamente o dañen. Disponer de los instrumentos primordiales y esenciales y del personal idóneo para realizar las calibraciones de ser necesarias.

1.5. Síntesis del trabajo

Como primer término, tenemos que entender que es una Caldera, sus partes, los tipos que existen, funcionamiento entre otras; así como para que se usa y en donde. Este es lo primero que veremos como desarrollo del tema. Posteriormente analizar cuáles son los puntos débiles de esta así como riesgos que puede causar su mal funcionamiento y el mantenimiento que se le debe de dar para que las emisiones de gases no sean tan grandes y puedan ocasionar daños en las personas y en la producción de la empresa. Como se sabe hoy en día casi toda la industria tiene Calderos de diversas potencias y capacidades según lo requieran su demanda de producción.

Luego de haber analizado como funciona una caldera; evaluaremos el monitoreo del área. En el Capítulo III explicaremos el concepto de monitoreo, los sensores a usar el tipo y tecnología que usan, su funcionamiento de cada uno. También veremos el porqué es necesario monitorear las áreas y cuando se deben de calibrar los sensores así como también consideraciones a tener en cuenta para la ubicación de los sensores para que las lecturas que muestren sean precisas y confiables para las personas que van a ingresar a dichas áreas a realizar algún trabajo cuando estén funcionando. La ubicación de los sensores debe ser tal que estén ubicados a distancias considerables y adecuadas del nivel del suelo y del techo de la sala de calderos. Veremos que tan densos son algunos gases con respecto de otros y de acuerdo a esto se determinara la ubicación del sensor. Se analizará con detalle los tipos de combustión para obtener una buena llama en el caldero. Una buena llama hará que el caldero no emita muchos gases tóxicos al ambiente y así evitar la contaminación. También veremos conceptos de algunos términos usuales en mediciones de gases, los límites máximos permisibles entre otras.

En el Capítulo IV, se verá todo lo relacionado a Normas de Seguridad para calderos; aquí veremos las principales normas internacionales tales como OSHA, NIOSH, ANSI, entre otras, también la diferencia entre sistemas de seguridad y de control, riesgos que hay de incumplirse dichas normas. Luego de estudiar y entender estas normas veremos algunas definiciones de algunos términos usados en monitoreo.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Caldera

Es todo aquello recipiente cerrado en el cual se calienta agua ó se genera vapor generalmente de agua para ser usado fuera de él a una presión mayor que la atmosférica. Una caldera es un generador de calor que transforma la energía química del combustible en energía calorífica. Además, intercambia este calor con un fluido, generalmente agua, que se transforma en vapor de agua. En una caldera se produce la combustión que es la liberación del calor del combustible y la captación del calor liberado por el fluido.

El calentamiento de una caldera es producido por la inflamación de un elemento combustible dentro de la cámara de combustión ó hogar de la caldera. Los combustibles comúnmente usados en las calderas modernas son líquidos o gaseosos derivados del petróleo. La cámara de combustión de la caldera y las paredes de la misma están diseñadas para aprovechar al máximo la energía en forma de calor que se libera cuando se inflama el combustible.

Las calderas y aparatos a presión, requieren precauciones y cuidados especiales. Para ello rigen reglamentaciones muy estrictas. Acarrear riesgos de explosiones o accidentes debidos a fallas en los componentes. La alta presión interna y sus frecuentes cambios, aumentan el riesgo de tales accidentes. Es esencial que las calderas y los aparatos a presión estén instalados y manejados según las reglamentaciones por personas competentes y autorizadas que deben realizar el mantenimiento.

Deben ser inspeccionados a intervalos regulares sólo por personas autorizadas, competentes que pertenezcan a una entidad oficial o a una asociación técnica reconocida. Este calor recibido de la caldera viene dado por los mecanismos básicos de transmisión de calor: la conducción es el calor que pasa de una parte a la otra de la pared del hogar, o de los tubos de humos; la convección, los tubos de humos se calientan al contacto con los productos de combustión y, por último, la radiación se produce un intercambio de calor de la llama a las paredes del hogar. Están constituidos básicamente por una fuente de calor que puede ser un quemador de petróleo o gas, una resistencia eléctrica, gases residuales, un horno de combustibles sólidos, un sistema mixto mediante reactor nuclear, etc. que

calienta agua tratada sea por ablandamiento o por desmineralización, etc. dentro de un recipiente metálico que contiene tubos metálicos donde se realiza la transferencia de calor y una cámara de vapor. El caldero tiene también dispositivos y accesorios electrónicos y mecánicos para generar y controlar el flujo de agua y de vapor, las presiones, el combustible y los gases de combustión, las purgas, etc.

2.1.1 Elementos y partes de una caldera

Los elementos principales son:

Los tubos en cuyo interior puede fluir el vapor y el agua en calderos acuotubulares o el fuego y los gases de combustión en los calderos pirotubulares.

La cámara de vapor que es un casco o cilindro en caldero pirotubular, o un domo en calderos acuotubulares.

La cámara de combustión u hogar que se llama flú en caso de caldero pirotubular y horno en caso del acuotubular.

La bomba de agua.

La bomba de petróleo.

Los filtros y equipo de precalentamiento de petróleo.

El quemador y dispositivos auxiliares del quemador: compresor de aire, transformador elevador, electrodos, ventilador, motor modutrol, presóstato de modulación, válvula de mariposa, el pirómetro y fotocelda, el dispositivo de encendido primario ó piloto etc.

Las válvulas de seguridad tanto de presión de vapor como de alivio de los gases ante un fagonazo ó expansión brusca.

El control de nivel de agua sea por columna Mac Donald ó por relé y varillas de nivel.

El sistema de purgas de agua de fondo.

El programador electrónico de control de la secuencia de funcionamiento del caldero.

El equipo de tratamiento del agua.

El sistema de aislamiento térmico de calor formado por ladrillo refractario, lana de vidrio, cemento refractario, etc.

En la figura 2.1 se puede apreciar las partes principales de un caldero industrial pirotubular.

2.1.2 Regulación y eficiencia

Como se observa en el caldero existen tres flujos principales: El agua, el vapor y el combustible y gases de la combustión. Cada uno de estos circuitos tiene diversos parámetros: temperaturas de entrada y salida, presiones de entrada y salida, masas de entrada y salida, entalpías, etc.

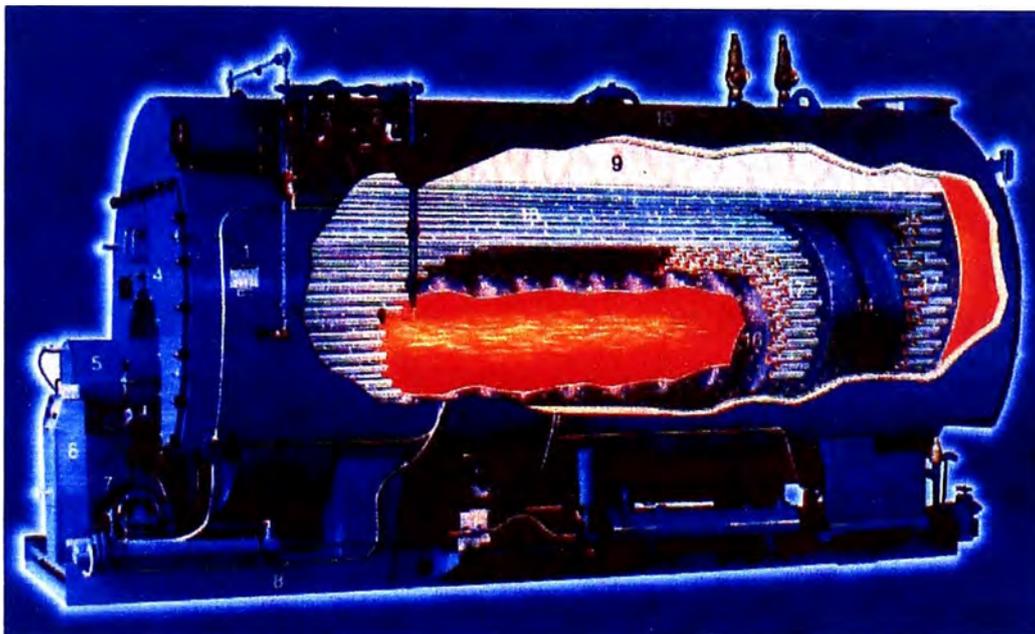


Fig. 2.1 Esquema de Caldero

La regulación de un caldero consiste en fijar cada uno de estos parámetros mediante el ajuste de válvulas e instrumentos de tal forma de operar el equipo en la forma más eficiente posible, esto es con la generación de vapor requerida utilizando el menor consumo de combustible posible, generando la menor cantidad posible de gases de la combustión reduciendo al mínimo la temperatura de salida de estos gases con la finalidad de evitar pérdidas de calor. Por lo tanto la eficiencia viene dada por la relación entre el calor generado por el vapor entre el calor total entregado por el combustible en combustión completa.

Las calderas son instalaciones que queman combustible para calentar agua o producir vapor. La mayoría de las calderas utilizan combustibles fósiles como fuente de energía, pero algunas también están diseñadas para quemar biomasa y desechos. El vapor producido por la caldera puede utilizarse para generar electricidad o para procesos industriales; asimismo, el agua caliente se puede utilizar en procesos industriales o para calefacción doméstica e industrial. Existen diferencias importantes entre las calderas de centrales eléctricas y las calderas industriales, que se reducen a las siguientes tres áreas:

- Tamaño de la caldera.
- Usos del vapor y agua caliente producidos por la caldera.
- Diseño de la caldera.

2.2 Tamaños de calderas

Las calderas de centrales son grandes en comparación con las calderas industriales

modernas (conocidas también como calderas industriales, comerciales o institucionales). Una caldera convencional de central termoeléctrica produce aproximadamente 1.600 toneladas de vapor por hora, mientras que una caldera industrial promedio produce unas 45 toneladas de vapor. Sin embargo, puede haberlas diez veces más pequeñas y diez veces más grandes.

2.3 Usos del vapor producido

Las calderas de las termoeléctricas están concebidas para generar un flujo constante de vapor que impulsa unas turbinas para producir electricidad. Por esta necesidad constante de vapor, las calderas suelen operar de forma continua, en condiciones estables. Sin embargo, ante los cambios en las estructuras del mercado energético, algunas centrales pueden variar sus condiciones operativas para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda energética nacional diaria.

Por su parte, las calderas industriales se utilizan para fines muy diferentes, en diversos sectores industriales, y las demandas pueden variar según las actividades y procesos industriales que se realicen en un determinado momento y la cantidad de vapor que requieran. Compárese, por ejemplo, la producción y uso de agua caliente y vapor para procesamiento de alimentos con el ciclo de demanda en una gran caldera de hospital. Estas necesidades de vapor tan fluctuantes significan que la caldera industrial no suele operar en todo momento a su máxima capacidad, aunque el diseño sea optimizado de acuerdo con la planta y su operación. En general, las calderas industriales tienen cargas de operación anuales o factores de capacidad mucho más bajos que las calderas típicas de termoeléctricas.

2.4 Diseño de la caldera

Las calderas de centrales son, por lo general grandes unidades que queman principalmente carbón pulverizado, combustóleo o gas natural a presión y temperatura elevadas. Todos los tipos de calderas de termoeléctricas suelen tener un diseño y tecnologías de combustión relativamente similares. Las calderas industriales pueden incorporar una gran variedad de sistemas de combustión, aunque suelen estar concebidas para tipos específicos de combustible. Las termoeléctricas están diseñadas en función de las calderas y de la turbina o turbinas, y su tamaño permite economías de escala importantes en el control de emisiones. Sin embargo, el diseño de las calderas industriales puede verse limitado por la necesidad de flexibilidad de producción de vapor y las limitaciones espaciales de la planta, lo que puede hacer más difícil la aplicación de controles efectivos de emisiones.

2.5 Tipos de caldera

2.5.1 Calderas de centrales termoeléctricas

Las calderas de termoeléctricas se designan según la configuración del horno de combustión:

Encendido tangencial: Utilizadas comúnmente para la combustión de carbón pulverizado pero también pueden alimentarse con petróleo o gas; consisten en una única zona de llama, con una mezcla de aire y combustible que se proyecta tangencialmente desde las cuatro esquinas del horno hacia la línea central del mismo.

Encendido de pared: Varios quemadores colocados en una sola pared o en paredes opuestas del horno que pueden quemar carbón pulverizado, petróleo o gas natural.

Encendido por ciclón: Por lo general, combustión de carbón triturado; la mezcla de aire y combustible se quema en cilindros horizontales.

2.5.2 Con hogar mecánico:

Son plantas más antiguas que queman todo tipo de combustibles sólidos; los hogares mecánicos esparcidores extienden el combustible sólido sobre una parrilla de combustión y eliminan las cenizas residuales

a) De combustión en lecho fluidizado: Temperatura de combustión del horno más baja, combustión eficiente gracias a la mezcla turbulenta en la zona de combustión, alimentación de carbón triturado con el potencial de eliminar contaminantes, principalmente dióxido de azufre, mediante incorporación de sorbentes.

b) De combustión en lecho fluidizado presurizado: Similar a la combustión en lecho fluidizado, pero a presiones mayores que la atmosférica y con mayor eficacia.

2.5.3 Calderas industriales

Las calderas industriales suelen distinguirse por los métodos de transferencia de calor y el sistema de combustión empleado.

a) Calderas acuotubulares: Los tubos transportadores de calor que contienen agua entran en contacto directo con gases calientes de combustión. Por lo general se utilizan en instalaciones alimentadas con carbón pero pueden adaptarse para quemar casi cualquier otro tipo de combustible como petróleo, gas, biomasa, desechos sólidos urbanos y combustible derivado de neumáticos.

b) Calderas pirotubulares: El agua rodea los tubos, por los que circulan los gases de combustión calientes. En general, este tipo de calderas utiliza carbón pulverizado, gas o petróleo, pero las hay que pueden quemar también biomasa y otros combustibles. Se usan generalmente en aplicaciones para baja presión.

c) Calderas de hierro fundido: Las secciones de hierro fundido de la caldera contienen ductos tanto para el agua como para el gas de combustión. Utilizadas para producir vapor a baja presión y agua caliente. Alimentadas generalmente con petróleo o gas y, en menor medida, carbón.

2.6 Principales sistemas de combustión

2.6.1 Hogares mecánicos: Existen diversos tipos y funciones de hogares mecánicos. En los de alimentación inferior, el combustible y el aire de combustión se suministran desde debajo de la parrilla, y las cenizas se descargan por el costado o la parte trasera. Los de alimentación superior, que pueden ser de carga en masa o, el más común, con esparcidor, suministran el aire de combustión desde la parte inferior de la parrilla, y el combustible se distribuye por encima de la misma. El hogar mecánico esparcidor con parrilla estacionaria es muy usado en la industria azucarera para quemar el bagazo.

2.6.2 Quemadores: Este variado grupo de dispositivos administra el suministro de la mezcla de aire y combustible en el horno en condiciones de velocidad, turbulencia y concentraciones apropiadas para mantener tanto la ignición como la combustión.

Las calderas de vapor se utilizan en la mayoría de las industrias debido a que muchos procesos emplean grandes cantidades de vapor. La caldera se caracteriza por una capacidad nominal de producción de vapor en t/h a una presión especificada y con una capacidad adicional de caudal en puntas de consumo de la planta

A la caldera se le exige, pues, mantener una presión de trabajo constante para la gran diversidad de caudales de consumo en la industria, por lo cual debe ser capaz de:

Aportar una energía calorífica suficiente en la combustión del fuel-oil ó del gas con el aire. Desde el punto de vista de seguridad, el nivel debe estar controlado y mantenido dentro de unos límites; es necesario mantener una llama segura en la combustión.

2.7 Combustión

Como ya hemos dicho anteriormente, las calderas industriales proporcionan energía en forma de calor, y para conseguir esto se necesita un proceso llamado combustión.

A la hora de llevarlo a cabo, hay que elegir con mucho cuidado el combustible, la presión a la que va a estar sometida. Definimos la combustión como una reacción química rápida exotérmica en la que se realiza la oxidación de una sustancia y la reducción de otra. Las temperaturas de combustión oscilan entre 1000 °C y 1650 °C.

2.7.1 Elementos principales de la combustión:

Para que se produzca la combustión es necesario que haya tres elementos fundamentales:

a) Comburente: es la sustancia que se reduce. El comburente más habitual es el oxígeno contenido en el aire atmosférico.

b) Combustible: la sustancia que se oxida, es decir, el elemento que se quema. Los más habituales son C, H, O y a veces, N y S.

c) Temperatura de ignición: debe ser lo suficientemente elevada como para producir el encendido.

2.7.2 Reacciones químicas en una combustión

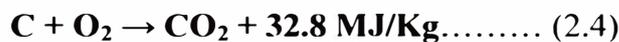
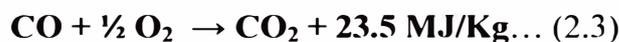
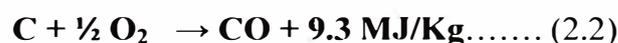
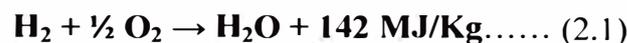
Las reacciones químicas deben satisfacer unas condiciones para que tengan lugar en el proceso de combustión:

Adecuada proporción entre combustible y comburente.

La mezcla de las dos sustancias debe ser uniforme.

La temperatura de ignición se establecerá y será monitorizada de manera que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando comience la combustión.

Además, las reacciones que se producen son:



2.7.3 Tipos de combustión

Se pueden dividir en dos apartados:

Según los productos que se obtienen:

Combustión con exceso de aire.- Existe una cantidad de aire superior al mínimo necesario.

Cuando se utiliza exceso de aire, no se producen inquemados.

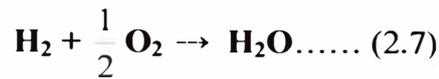
Combustión con defecto de aire.- Es la que se lleva a cabo con menor cantidad que el aire mínimo necesario.

Cuando se utiliza un defecto de aire tiene a producirse inquemados.

a) Combustión completa:

Es aquella en la que se emplea un exceso de aire controlado y el combustible se oxida completamente, por lo que todo el carbono se transforma en CO₂, es decir, no se produce CO. Las reacciones fundamentales de combustión son:





b) Combustión incompleta

Es aquella en la que los gases de combustión contienen compuestos parcialmente oxidados (hidrógeno, CO, etc) y se produce una disminución de la cantidad de calor obtenida. Esta combustión puede ser con exceso o con defecto de aire. De entre los inquemados, el más importante es el CO. Libera menos calor que la completa.

Una parte “a” del carbono del combustible pasa a CO₂ y el resto “1-a” a CO:



2.7.4 Control de una combustión

El termino control de combustión básicamente referida al control de las calderas que lleva a cabo las siguientes funciones básicas: El balance energía y el control del hogar. La regulación de la combustión se basa en mantener constante la presión de vapor en la caldera, tomándose sus variaciones con una medida de la diferencia entre el calor tomado de la caldera como vapor y el calor suministrado. El controlador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible. La señal procedente del caudal de aire es modificada por un relé de relación para ajustar la relación entre el aire y el combustible, y pasa a un controlador que la compara con la señal de caudal del combustible. Si la proporción no es correcta, se emite una señal al servomotor de mando del ventilador ó a la válvula mariposa, de modo que el caudal de aire es ajustado hasta que la relación combustible-aire sea correcta.

En la regulación de combustión puede darse preferencia en el mando al combustible o al aire para que la operación de la caldera corresponda a un sistema determinado de variadas características de seguridad. Estas características de combustión son las siguientes:

- Caudal fuel - caudal aire en serie.
- Caudal aire – caudal fuel en serie.
- Presión de vapor – caudal fuel / caudal vapor – caudal aire en serie.
- Caudal aire – caudal fuel en paralelo.

2.7.5 Control de Nivel

La regulación de agua de alimentación que establece el nivel de la caldera depende

de múltiples factores, del tipo de caldera, de la carga, del tipo de bomba y del control de presión del agua de alimentación.

El sistema de control del agua de alimentación puede realizarse de acuerdo con la capacidad de producción de la caldera, según la tabla que se presenta a continuación y que el lector debe de tomar como guía de selección teniendo presente que cada caso individual debe estudiarse separadamente.

El sistema de combustible consta básicamente de dos tuberías; una de ellas alimenta el combustible y la otra el oxígeno necesario para generar la combustión. Para aumentar la eficiencia en el proceso de combustión.

La regulación del nivel de dos elementos se logra con un controlador de caudal de vapor y un controlador de nivel cuyas señales de salida se comparan en un relé de relación que actúa directamente sobre la válvula de control del agua de alimentación. De acuerdo con la demanda del caudal de vapor hay una aportación inmediata de agua de alimentación a través del controlador secundario de nivel. Este último es utilizado solamente como reajuste de las variaciones que pueden producirse con el tiempo en el nivel de la caldera. La regulación de tres elementos elimina el fenómeno de oscilación del nivel de agua que se produce cuando el caudal de vapor crece ó disminuye rápidamente.

La oscilación es opuesta a la demanda y el termino es importante en caldeas de cierta potencia y volumen reducido, sujetas a variaciones de caudal frecuentes y rápidas.

Las tres variables que intervienen en el sistema son:

- Caudal de vapor.
- Caudal de alimentación de agua.
- Nivel de agua.

Para que las condiciones de funcionamiento sean estables, el caudal de vapor y de agua deben de ser iguales y de forma secundaria, el nivel de agua debe reajustarse periódicamente para que se mantenga dentro de unos límites determinados (normalmente son de unos 50 mm por encima y por debajo de la línea central de la caldera). Manteniendo estas funciones en las tres variables, los instrumentos correspondientes pueden ser relacionados entre sí de diversas maneras

2.8 Seguridad de la llama

La detección de la llama en la industria es muy importante desde el punto de vista de seguridad. Los quemadores de gas o fuel-oíl utilizados en los hornos ó en las calderas de vapor, necesitan para que su funcionamiento sea correcto y que la llama producida por el combustible sea estable y de calidad y que se mantenga en estas condiciones mientras el

quemador este en marcha. Ante un fallo en la llama, el sistema de protección debe actuar inmediatamente excitando el circuito eléctrico de enclavamiento previsto en la instalación para que el conjunto CAIGA en seguridad, y evite la entrada de combustible sin quemar eliminando así el peligro de su eventual encendido y explosión subsiguiente. Los detectores de llama aprovechan varias características de la llama para su funcionamiento: calor, ionización y radiación.

Exceptuando las calderas de muy poca capacidad, el elemento detector universalmente es el ultravioleta por la gran seguridad que ofrece. El relé de llama conectado al detector puede adoptar muchas formas, desde la más sencilla alarma y paro de la caldera hasta realizar funciones de:

Pre barrido; es decir, limpieza de los gases que pueden haberse acumulado desde la última combustión.

Encendido de la llama piloto.

Encendido de la llama principal.

Paro de la instalación según un enclavamiento secuencial en el que intervienen los elementos: fallo de llama, presóstato de baja presión de fuel o gas, alarma de nivel de la caldera, etc.

Postbarrido, fase en la que se limpian los gases quemados.

El circuito de llama (detector + relé) dispone además de una comprobación de su propio circuito en el arranque de la caldera, lo cual es suficiente en las industrias que paran una vez en la semana. Si el proceso es continuo y la caldera debe trabajar sin paros durante periodos prolongados, aumenta el riesgo de coincidencia entre el fallo del sistema de seguridad y la presencia de grandes cantidades de combustible sin quemar. Se recomienda utilizar un detector ultravioleta que permite auto comprobar cada segundo el circuito electrónico del sistema de llama. Se consigue mediante una placa que corta periódicamente la radiación de la llama hacia el detector, momento en el cual se auto comprueba el circuito. Cualquier fallo detectado hace parar la instalación.

2.9 Operación del caldero

2.9.1 Análisis de la secuencia de encendido del caldero

El encendido del quemador de un caldero, que normalmente se realiza en forma automática mediante un programador, debe de seguir la siguiente secuencia:

Primero deben de accionarse los instrumentos que controlan las purgas, tanto del aire del ventilador sobre los gases de la combustión en el hogar como del sistema de combustible y el sistema de agua. Por lo tanto es accionado el ventilador y el compresor

de aire conjuntamente con la bomba de petróleo e incluso, dependiendo del tipo de programador, también se realiza un movimiento de la válvula de mariposa de regulación automática de combustible controlada por un motor modutrol. Este período de purgas dura de uno a diez minutos dependiendo del tamaño del caldero y del programador utilizado. El encendido del quemador nunca llegará a iniciarse en el caso de que el nivel de líquido del caldero esté por debajo del mínimo regulado en el control automático de nivel, el cual bloquea el programador para evitar un recalentamiento en el caldero por falta de agua. En este caso solamente se accionará la bomba de agua de alimentación hasta que se alcance el nivel adecuado. En el caso de que el caldero haya estado prendido y se encuentre caliente y por alguna causa externa al caldero se haya quedado sin agua, es peligroso que repentinamente ingrese agua fría al caldero debido a que el choque del calor y alta temperatura del metal con el agua fría puede ocasionar que el caldero se raje o que se le aflojen los tubos. En algunos casos, se produce una cristalización que tiene un efecto similar al de un envejecimiento por fatiga térmica que determina que tal vez no en el momento en que ocurrió el recalentamiento el caldero se raje, sino meses más adelante, ya que la formación de los cristales en las zonas de recalentamiento han determinado una pérdida de la resistencia y de las propiedades originales del caldero. Esta es una falla típica que ocurre durante cortes del suministro de energía eléctrica durante los cuales el caldero sigue suministrando vapor hasta quedarse sin agua suficiente al no ser accionada la bomba de agua de alimentación.

En segundo lugar es accionado el sistema de ignición primaria, siendo accionada la válvula eléctrica a solenoide que hace ingresar el combustible para el encendido inicial. En algunos casos es accionada una bomba de combustible del sistema de encendido primario o piloto. Frecuentemente este combustible del primario es gas o petróleo Diesel # 2, que son altamente inflamables. Simultáneamente con este ingreso de combustible, son accionados el transformador elevador de voltaje a 5,000 ó 10,000 Volts, el cual da una chispa entre dos electrodos, y el pirómetro óptico con el sistema de fotocelda y circuito amplificador de voltaje, los cuales están activados durante todas las secuencias de encendido, para detectar la existencia de llama en el encendido primario. Frecuentemente este período dura de diez a quince segundos. En caso de que la fotocelda no detecte la llama, se cerrará la solenoide de combustible y el caldero volverá a su estado inicial de purgas y dependiendo del modelo del programador, reintentará realizar otro encendido, o accionará una alarma y se detendrá el encendido hasta que llegue el operador del caldero, o en el caso de programadores computarizados realizará el auto diagnóstico y autocorrección

necesaria.

Luego de que la fotocelda detecte la existencia de llama en el primario, es accionada la válvula de solenoide que permite el ingreso del combustible de operación normal. Actualmente el combustible más utilizado es el gas natural por su bajo costo. Si el programador es totalmente automático y moderno, no permitirá el ingreso del combustible principal hasta que este haya alcanzado su temperatura de operación normal, la cual está controlada por un sistema de termostato y termómetro que miden la temperatura del combustible que es calentado en un precalentador por medio de una resistencia ó por medio del vapor del propio caldero.

Existe un tiempo de traslape o de accionamiento simultáneo entre el sistema de ignición primario y el principal. Este período fluctúa entre cinco a veinticinco segundos, dependiendo del tamaño del caldero. Siempre en todo momento están activados el sistema de fotocelda y pirómetro conjuntamente con la bomba principal de combustible (por lo general de petróleo pesado).

Si es que el pirómetro detectó normalmente la llama en el período anterior, luego se cerrará o apagará el sistema de ingreso de combustible del sistema primario de ignición, para que inicie el calentamiento normal de todo el caldero. De allí en adelante el control automático del caldero estará dirigido por los controladores de presión de vapor y de nivel de líquido.

Cuando el líquido del caldero está totalmente frío y recién empieza a calentarse toda la estructura metálica, es conveniente operar en forma manual y llevar el caldero lentamente al calentamiento y a su presión nominal en el régimen de mínima llama en la medida de ser ello posible. Mientras más grande es el caldero, más lento debe ser el calentamiento. En calderos chicos de menos de 200 HP es conveniente en este caso utilizar por lo menos dos horas en el régimen de mínima llama. En calderos grandes, por ejemplo de 5000 HP el período de calentamiento del hogar debe de ser por lo menos de seis horas. Para accionar el régimen de mínima llama debe de conectarse el interruptor o switch de modulación a su posición manual, llevando así el motor modutrol a su posición de mínimo combustible. En operación normal, con el caldero caliente, el quemador iniciará en régimen de máxima llama hasta alcanzar su presión de trabajo luego de lo cual el presóstato de modulación activará en forma automática el motor modutrol llevándolo a su posición de llama mínima hasta que haya alcanzado la presión límite en la cual el presóstato de control lo apagará, hasta que la presión baje al límite inferior e inicie nuevamente la secuencia de encendido. El monóxido de carbono resulta de la combustión

incompleta de combustible a base de carbón. Algunos tipos de equipos de combustión, tales como los incineradores, pueden producir niveles relativamente altos de monóxido de carbono. El tratamiento térmico del gas liberado puede utilizarse para quemar el monóxido de carbono y otros productos de la combustión incompleta. La mayoría del equipo de combustión industrial, incluyendo las turbinas estacionarias y otras máquinas estacionarias, producen cantidades relativamente pequeñas de monóxido de carbono. Para estas fuentes, la optimización de la combustión es el método de control típico. El control de parámetros claves de la operación de la máquina, tales como combustible, aire y carga de la máquina, optimiza la combustión y deja que la máquina opere a un nivel de emisiones bajo y en cumplimiento. También pueden limitarse efectivamente los óxidos de nitrógeno, VOCs y otros contaminantes, a través de la optimización de la combustión. Algunos equipos de combustión industriales requieren de un conjunto bastante estrecho de parámetros de operación. Para este tipo de equipo, las pruebas periódicas pueden establecer un patrón de emisiones que se correlacione con las condiciones óptimas de operación. Las condiciones de operación que se correlacionan con las violaciones a las limitaciones de emisiones, pueden monitorearse utilizando técnicas de monitoreo paramétrico. El aspecto crítico de este tipo de monitoreo es establecer la relación entre las condiciones de operación y las emisiones. Durante las pruebas periódicas de cumplimiento, los parámetros claves, tales como la temperatura de operación, el exceso de aire y la carga, pueden monitorearse concurrentemente con el CO.

Estableciendo una correlación entre estos parámetros y las razones de las emisiones de CO, se pueden desarrollar algoritmos para predecir emisiones. Los analizadores portátiles de combustión son una opción aceptable para fuentes de CO y pueden ser utilizados para medir exceso de aire u O_2 , flujo de aire y temperatura. Este tipo de enfoque puede ser una manera efectiva en costo de monitoreo paramétrico, particularmente cuando varias unidades idénticas son operadas por una compañía. Los costos para desarrollar técnicas de monitoreo paramétricas para unidades adicionales idénticas, puede ser sustancialmente menos que para la primera unidad.

Para la mayoría de los equipos de combustión que operan dentro de un rango predecible, este método ofrece mayor aseguramiento que el monitoreo de la caída de presión descrito en los dos ejemplos previos. Algunos equipos industriales de combustión operan a condiciones casi de estado estable y puede ser adecuado un monitoreo paramétrico más simple. Muchas calderas industriales están ya monitoreando los parámetros de operación tales como la carga y el flujo de aire de combustión, utilizando

registradores de gráficas de papel. Algunas unidades son capaces de demostrar que su monitoreo existente es adecuado para mantener cumplimiento.

CAPITULO III MONITOREO DE GASES

3.1 Monitoreo

El monitoreo de gases peligrosos para calidad del aire en el área de trabajo y seguridad es un tema complejo. A diferencia de otros tipos relativamente sencillos de medición tales como voltaje, temperatura y humedad, la medición de gases es mucho más complicada. Puesto que hay literalmente cientos de gases y una extensa gama de aplicaciones en que estos gases están presentes, cada aplicación tiene un único conjunto de requerimientos. Por ejemplo, algunas aplicaciones requieren la detección de un gas específico eliminando lecturas de otros gases presentes. A la inversa, otras aplicaciones pueden requerir una medición cuantitativa de la concentración de cada gas presente en el área. El tema se complica más por el hecho que hay varios sensores que pueden ser usados. Para cualquier aplicación dada, uno debe seleccionar apropiadamente un sensor de entre las distintas alternativas disponibles. Cada tipo de sensor está basado en un principio de detección único y, por ende, tiene características de respuesta al gas únicas. La mayoría de los sensores no son específicos a un gas y son sensitivos a un grupo o familia de gases. Para seleccionar un sensor o un sistema de detección para resultados óptimos, es importante conocer qué tipo de sensores están disponibles y las respuestas características a diversos gases (Ver Anexos).

El monitoreo de las emisiones de gases es una parte cada vez más importante del control de la contaminación del aire. La legislación sobre el control de la contaminación, en ocasiones toma la forma de límites de emisiones u orientaciones con las que un proceso industrial debe cumplir. El monitoreo demuestra el cumplimiento con las regulaciones o con los límites permitidos. Además, el monitoreo proporciona información acerca de los contaminantes gaseosos y la materia particulada liberada a la atmósfera, que puede ser utilizada para compilar datos de inventarios de emisiones, autorizar establecimientos nuevos o ya existentes y realizar auditorías. Los establecimientos industriales pueden usar el monitoreo de emisiones para evaluar y monitorear la eficiencia y el control de procesos, para determinar la eficiencia de los dispositivos de control de la contaminación y para monitorear la salud y la seguridad dentro de la planta. La participación en programas de

intercambio de emisiones requiere por lo general del monitoreo de emisiones. El término monitor se refiere a una amplia variedad de instrumentos utilizados para medir concentraciones de compuestos gaseosos y materia particulada y propiedades físicas tales como opacidad, en una corriente de gas residual. Existen diferentes tipos de monitores comercialmente disponibles para el monitoreo de emisiones. Los monitores requieren generalmente de equipo adicional para la toma de muestra, la calibración de instrumentos y la adquisición y procesamiento de datos. Los monitores deben ser capaces de proporcionar datos exactos reproducibles.

La selección del equipo de monitoreo o método paramétrico apropiado, implica más que comparaciones básicas de costos y de funcionamiento. Las condiciones de operación varían de establecimiento a establecimiento para una categoría dada de fuente, haciendo difícil la selección del equipo de monitoreo único para cada instalación. La selección del equipo de monitoreo depende de las siguientes consideraciones:

Propiedades físicas/químicas del gas contaminante y de la corriente de gas residual.

Limites regulatorios o autorizados y cualquier requerimiento de reporte asociado.

Localización y método de medición, procesar y decantar de las muestras.

Requerimientos de calibración y exactitud.

Requerimientos de aseguramiento y control de calidad.

Requerimientos de mantenimiento.

Seguridad y administración del establecimiento.

3.2 Variables de Monitoreo

Las características del químico y el ambiente en el cual está localizado, deberán de ser considerados en el desarrollo de la estrategia de monitoreo. Las variables que afectan a la estrategia son:

- Densidad del vapor
- Presión del vapor
- Gravedad específica
- Solubilidad en el agua
- Temperatura ambiental
- Dirección del viento
- Humedad Relativa

3.2.1 Densidad de Vapor

Los químicos con una alta densidad de vapor son más pesados que el aire y se asientan en el suelo, mientras que los químicos con baja densidad de vapor son más ligeros

que el aire y se elevan hasta el techo.

Si el monitoreo es en una zona normal de respiración (entre 1,2 y 2 m) y un químico de alta o baja densidad de vapor está presente, el químico puede no ser detectado o puede no ser completamente detectado.

Densidad del aire = 1

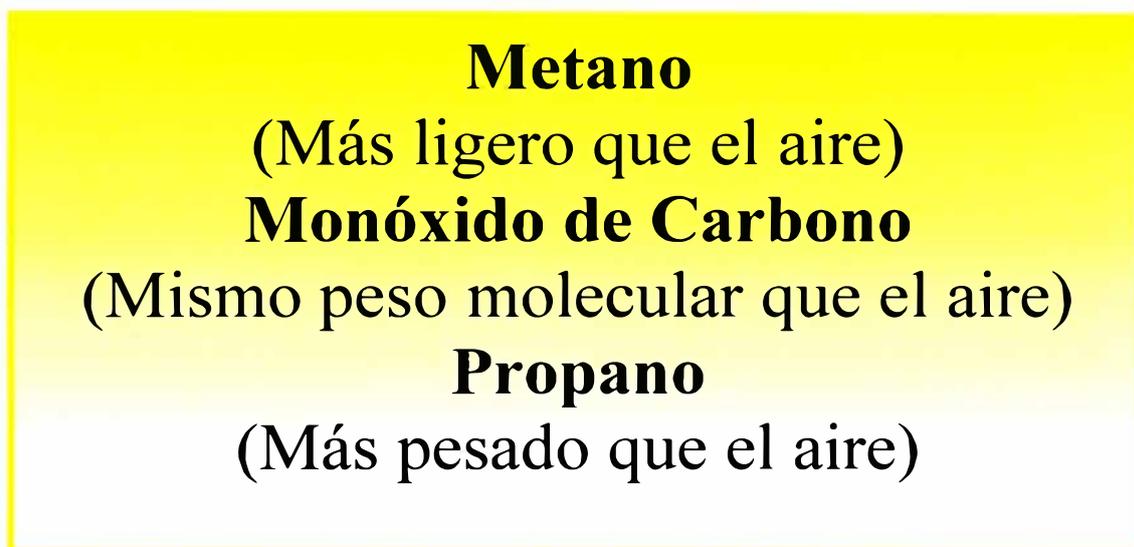


Fig. 3.1 Densidad de Gases

3.2.2 Presión de Vapor

Entre más alta sea la presión de un químico, este más se evaporará y podrá ser transportado por el aire (ver Fig. 3.2).

Los químicos con una alta presión de vapor no contaminarán una superficie o material (suelo) por extensos periodos de tiempo porque ellos se evaporarán rápidamente.

Los químicos con una baja presión de vapor, no se evaporarán fácilmente, y contaminan las superficies y materiales (suelo) por extensos periodos de tiempo.

3.2.3 Solubilidad en el agua

Al combinar un químico con agua, puede generar una reacción la cual puede ser gaseosa y reaccionar con los gases del ambiente.

3.2.4 Temperatura ambiental

Muchas veces la temperatura ambiental puede llegar a ser la temperatura suficiente para que un químico llegue a su temperatura de ebullición. Normalmente, a mayor temperatura ambiental, se obtiene mayor presión de vapor. En condiciones frías, el químico no se evapora y llega a ser más difícil de detectar.

La temperatura afecta principalmente a los equipos de medición que poseen algún sensor catalítico, este sensor basa su funcionamiento en la característica eléctrica del

filamento dependiendo de la temperatura. Por lo tanto cuando se efectúan cambios bruscos de temperatura se debe tener en cuenta al interpretar la medición (Ver Fig. 3.3).

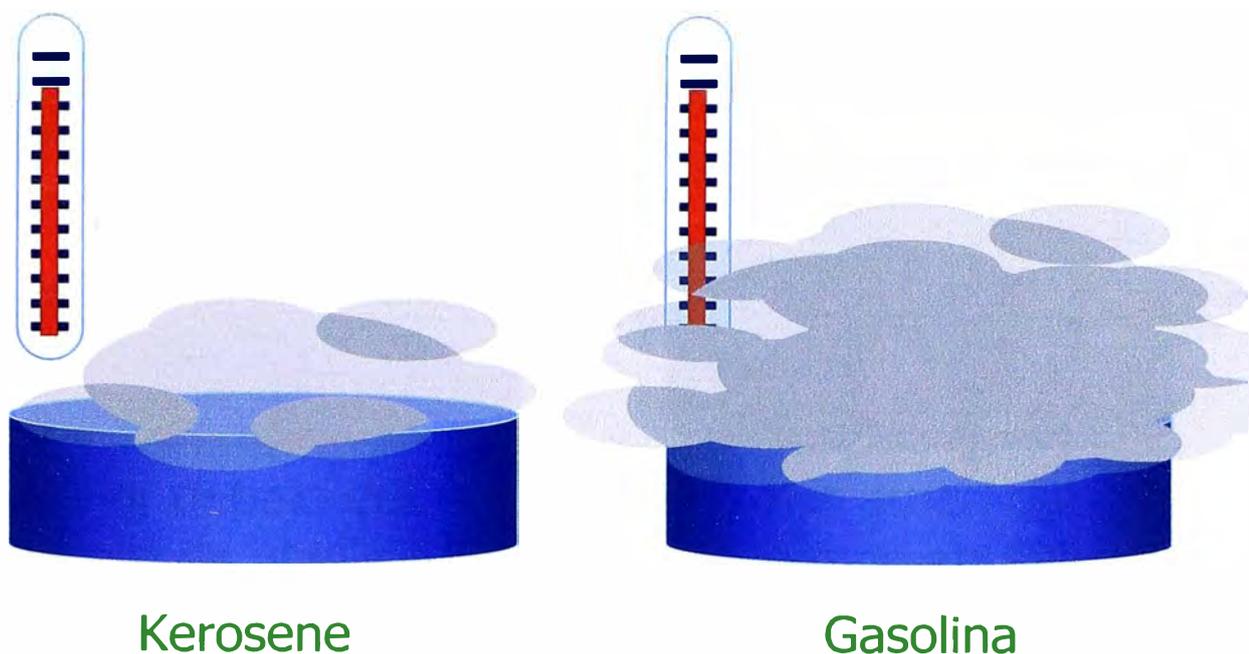


Fig. 3.2 Presión de vapor

3.2.5 Dirección del viento

Dirección del viento (al aire libre) o movimientos de aire (en interiores). Localizar la dirección del viento antes del muestreo es extremadamente importante.

La dirección del viento puede llevar a falsas lecturas.

3.2.6 Humedad relativa

Para cambios bruscos de humedad (desde el aire seco de un aire acondicionado a uno extremo cargado de humedad) los niveles pueden variar en un 0,5%. Esto sucede debido a que el vapor de agua desplace al Oxígeno, por lo tanto reduce el nivel de Oxígeno a medida que aumenta la presión. Esto afecta en forma lenta a las lecturas, es un periodo de varias horas.

3.3 Concentración de gases

En la industria interesa determinar la concentración de los gases tales como CO_2 , CO + H_2 , O_2 ú otros, bien en el análisis de humos de salida de las calderas de vapor para comprobar su combustión correcta, bien en el análisis de concentración de gases desde el punto de vista de seguridad ante una eventual explosión, etc.

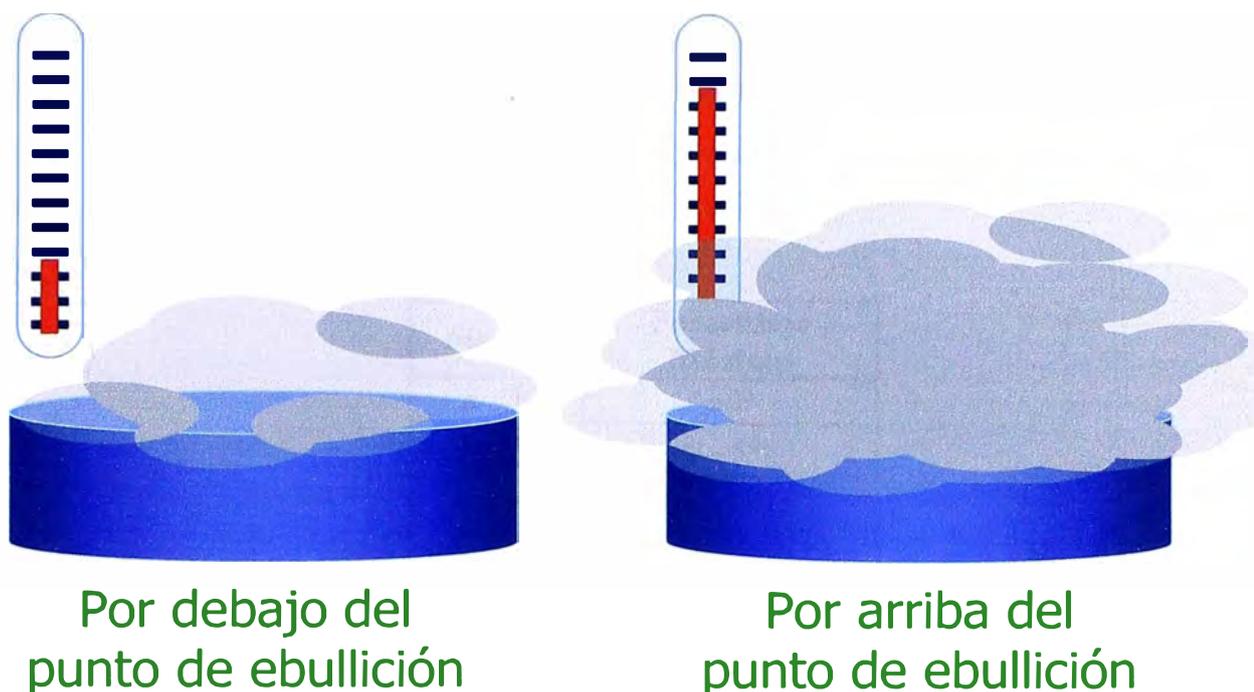


Fig. 3.3 Temperatura de ebullición

Los analizadores se basan en general en propiedades características de los gases, tales como la conductividad térmica, el paramagnetismo del Oxígeno y el coeficiente de absorción infrarroja.

3.3.1 Conductividad térmica

Un caso clásico de aplicación es el principio de conductividad térmica es la determinación del contenido en dióxido de carbono de los gases de combustión de una caldera de vapor. Esta determinación se basa en la diferente conductividad térmica de dicho gas cuando se compara en una célula con el aire u otros posibles constituyentes del gas de combustión. El gas se aspira con una bomba ó con succión por entrada de agua a través de un filtro y pasa a la célula. Esta contiene un hilo de resistencia calentado eléctricamente y mantenido a una temperatura ligeramente superior al de las paredes. Con un buen diseño y limitando la elevación de temperaturas del hilo caliente se consigue que la transmisión de calor por convección y radiación sea despreciable y que la temperatura y, por consiguiente la resistencia del hilo central sea inversamente proporcional a la conductividad del gas que lo rodea. Las variaciones en la temperatura del gas y del instrumento se compensan en general por medio de una célula cerrada idéntica de medida de la conductividad térmica, que contiene aire de composición conocida (o bien dos células de muestra y dos de referencia). La medida efectuada en la práctica es la diferencia de

resistencia los hilos en contacto con el aire y con el gas de combustión, respectivamente, y se realiza con un circuito de puente de Wheatstone.

El sistema se utiliza básicamente para la mezcla aire-CO₂ pero también puede emplearse e otros gases. En la tabla 3.1 que sigue se encuentran relacionados algunas mezclas y los porcentajes máximos que pueden medirse.

Mezcla	Porcentaje Máximo
a b	a/b
CO ₂ - aire	0 - 5%
O ₂ - aire	0 - 16%
SO ₂ - aire	0 - 3%
O ₂ - N ₂	0 - 52%
CO ₂ - N ₂	0 - 7%
CO ₂ - O ₂	0 - 3%

Tabla 3.1 Porcentajes de mezclas

Otro ejemplo de utilización de estos analizadores lo constituyen la determinación del Monóxido de Carbono é Hidrógeno en los gases de combustión de las calderas de vapor. Como estos gases son combustibles se queman con un exceso de aire y se determina el calor desprendido en un tubo provisto de un alambre calentado eléctricamente cuya resistencia varía con el aumento de la temperatura en la combustión. El alambre se conecta a una rama de un puente de Wheatstone, y las variaciones en la temperatura exterior se compensan intercalando un tubo semejante, pero cerrado en la rama opuesta. El resultado expresado en porcentaje de CO + H₂ se convierte en señal indicada o registrada. En otra aplicación se determina el contenido Oxígeno e los gases de combustión, por la variación de conductividad térmica cuando los gases se pasan sobre carbono a temperatura elevada, con lo que todo el oxígeno presente se convierte en dióxido de carbono. El instrumento utilizado es semejante al utilizado para la determinación de CO₂ con un par de células de conductividad térmica en cada rama del puente de Wheatstone. Los gases de combustión se hacen pasar a través de un par, a continuación por un pequeño horno que contiene barras de carbono a temperatura elevada, y finalmente a través de otro par de células. Se mide el cambio en la conductividad térmica y por consiguiente el aumento en la proporción de CO₂. El resultado puede indicarse o registrarse.

3.4 Tipos de sensores

Muchas tecnologías son usadas para detectar gases. Para el propósito del presente

informe, nos enfocaremos en aplicaciones de calidad de aire en las áreas de trabajo. Este grupo de sensores es utilizado principalmente en aplicaciones de tipo general y satisfacen el criterio de ser robustos, resistentes a la corrosión, a las inclemencias del tiempo y al polvo, y aptos para ser instalados en zonas peligrosas. Además, pueden ser adecuados para sistemas de varios sensores, tienen costo bajo y larga expectativa de vida, y son fácilmente operados y mantenidos por personas mínimamente experimentadas.

Las aplicaciones en cuestión pueden ser divididas en dos categorías principales: Monitoreo de gases tóxicos para la salud humana y monitoreo de gases combustibles.

Para monitorear gases tóxicos se requiere un sensor que sea sensible a niveles bajos de concentraciones, en tanto que cuando se monitorea un gas combustible se requiere un sensor que pueda detectar altas concentraciones de gases.

Por ejemplo, el amoníaco tiene un límite de exposición permisible de 50 partes por millón (ppm) para satisfacer los requerimientos de OSHA de 8 horas de trabajo diarias. El límite mínimo de explosión para el amoníaco, sin embargo, es de 15 partículas por volumen. Esta drástica variación en concentraciones ilustra que habitualmente suelen requerirse tipos de sensores totalmente diferentes, incluso para medir un mismo gas.

Los sensores comúnmente usados para satisfacer los requerimientos de calidad del aire en el área de trabajo y aplicaciones de seguridad son los sensores electroquímicos, sensores catalíticos, sensores de estado sólido, sensores infrarrojos y detectores de fotoionización. Estos tipos de sensores que presentaremos a continuación serán foco de discusión de este informe.

3.4.1 Sensores electroquímicos

a) Principio de operación

Un típico sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación o reducción. Los materiales del electrodo, específicamente desarrollados para el gas de interés, catalizan estas reacciones. Una corriente proporcional a la concentración de gas medida es generada y esta puede ser medida para determinar la concentración de gas.

b) Características y aplicaciones

El concepto erróneo más común acerca de los sensores electroquímicos es que todos tienen las mismas características de desempeño y confiabilidad. Por el contrario, hay muchas maneras en que los sensores electroquímicos están contruidos, dependiendo del

tipo de gas a detectar y del fabricante. Cada tipo de sensor es diferente.

SENSOR ELECTROQUIMICO

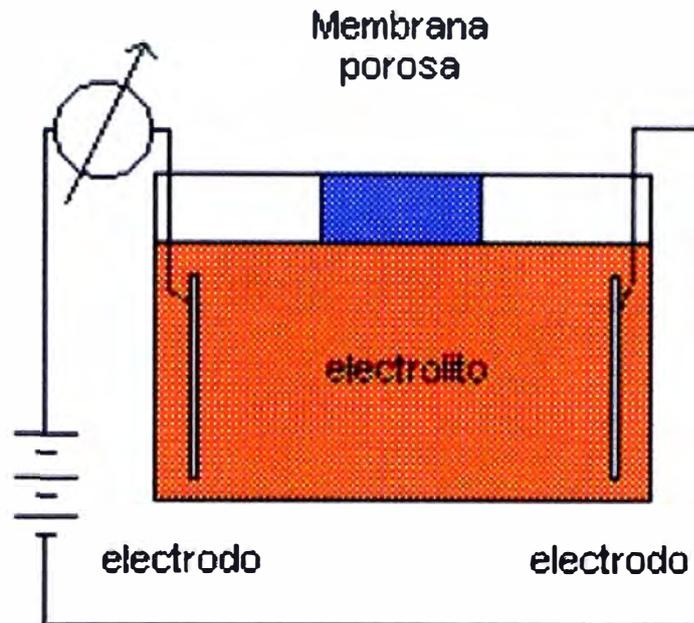


Fig. 3.4 Esquema de sensor electroquímico

Además de la tecnología usada y los parámetros para los cuales son fabricados; es decir son fabricados resistir condiciones ambientales por encima de sus niveles permisibles.

c) Características comunes

Bajo Consumo de Energía; esto permite que el sensor sea usado en unidades portátiles, alimentadas con baterías.

Buena Sensibilidad; este sensor es fundamentalmente conveniente para aplicaciones de límite permisible en el área de trabajo. No es apto para aplicaciones de gases combustibles.

Selectividad; comparado con otros sensores, algunos sensores electroquímicos son bastante selectivos al gas objetivo para el cual fueron diseñados. Sin embargo, algunos sensores pueden tener una pobre selectividad, dependiendo del gas a ser detectado.

Expectativa de Vida; la expectativa de vida de un sensor electroquímico depende de diversos factores, incluyendo el gas a ser detectado y las condiciones medioambientales en

que el sensor es usado. Generalmente, la expectativa de vida es uno a tres años. Algunos sensores son especificados de acuerdo a la dosificación de exposición del gas, como por

Typical Electrochemical Toxic Sensor

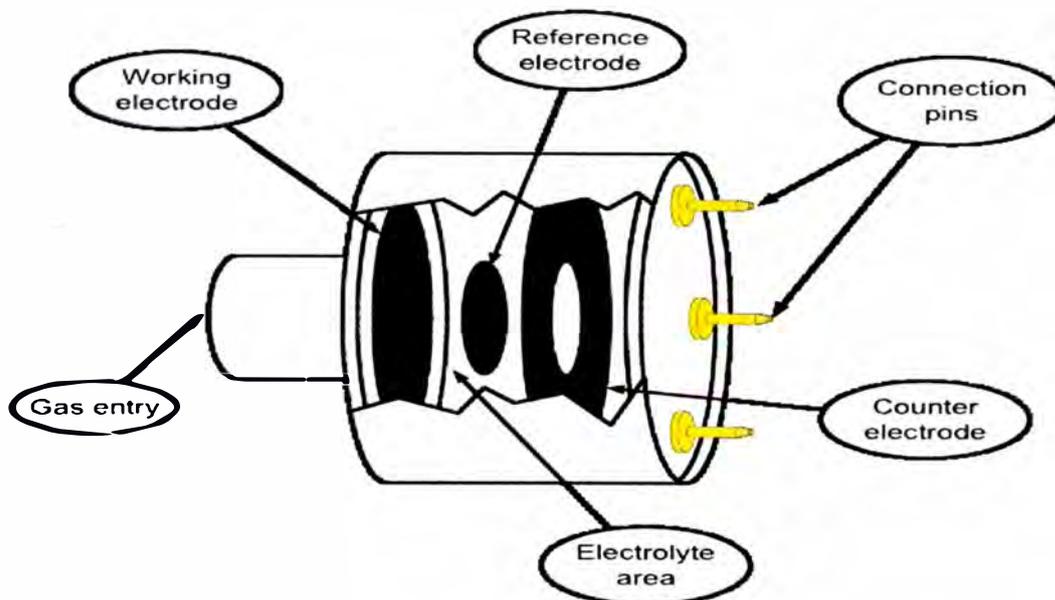


Fig. 3.5 Partes de sensor electroquímico

ejemplo un sensor de amoníaco, típicamente catalogado para 5000 ppm horas. En otras palabras, si el sensor es expuesto a 50 ppm de amoníaco constantemente, el supuesto es que el sensor sobrevive por 100 horas.

Alrededor de 30 gases pueden ser detectados con los sensores electroquímicos en bajos rangos de ppm. Sensores diseñados para detectar gases tales como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de nitrógeno son buenos sensores capaces de comportarse de acuerdo a las expectativas. Sensores para otros gases pueden ser mucho menos confiables de lo especificado. En general, un sensor electroquímico es un tipo popular de sensor comúnmente usados en instrumentos portátiles para aplicaciones de bajas concentraciones. Para aplicaciones estacionarias, el uso es más limitado.

3.4.2 Sensores catalíticos

a) Principio de operación

Una mezcla combustible de gases no se quemará hasta que alcance la temperatura de ignición. En presencia de materiales catalíticos, sin embargo, el gas empezará a quemarse a temperaturas más bajas. Un alambre de platino en espiral es recubierto con un óxido metálico tratado catalíticamente. En presencia de gases combustibles, las moléculas de gas se queman sobre la superficie del sensor, lo cual causa que la temperatura del sensor se

incremente. El cambio de temperatura altera la resistencia del alambre de platino, que es conectado a un circuito de puente Wheatstone que produce una señal proporcional a la concentración del gas.

Typical Catalytic Bead Sensor Operation

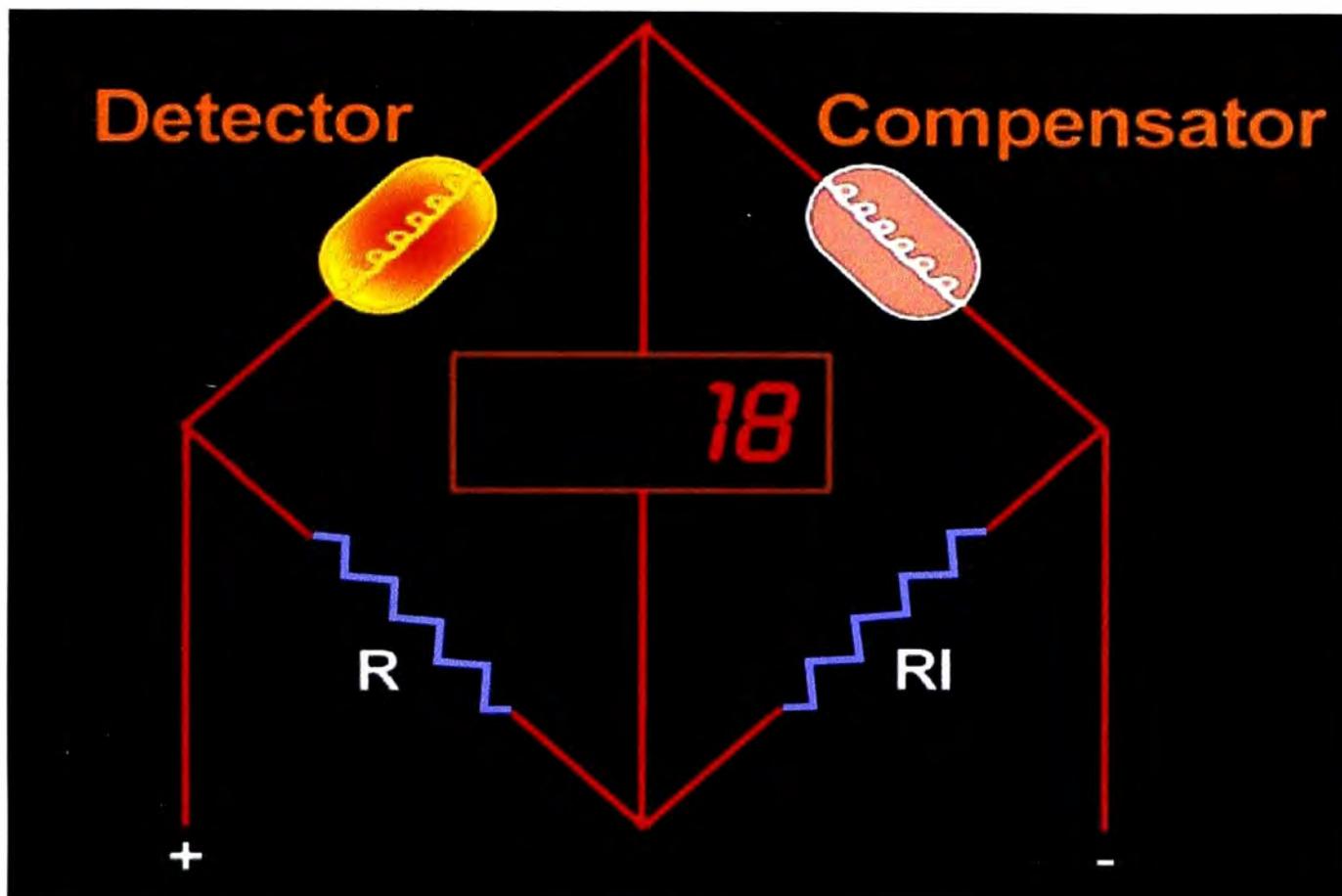


Fig. 3.6 Esquema de sensor catalítico

b) Características y aplicaciones

La salida de un sensor catalítico es directamente proporcional a la concentración de gas, hasta el límite explosivo inferior. Es el sensor más popular para la detección de gases combustibles.

c) Características comunes

Sensor de Gases Combustibles de Propósito General. Este sensor es apto para uso en aplicaciones de instrumentos portátiles o estacionarios continuos para gases de hidrocarburos.

Expectativas de Vida. Esto depende del fabricante y de la aplicación; típicamente se especifica de uno a dos años de vida útil.

Alteración del Catalizador. Hay elementos químicos que desactivarán el catalizador y

harán el sensor insensible al gas. Los químicos comunes incluyen compuestos de silicona, compuestos de sulfato y cloro.

Factores de Corrección. La mayoría de los sensores catalíticos se calibran comúnmente con metano. La salida es diferente para otros hidrocarburos. Generalmente, un fabricante provee un set de factores de corrección que permiten al usuario medir diferentes gases multiplicando las lecturas con los factores de corrección apropiados.

Los factores de corrección son exactos bajo condiciones controladas tales como cuando se utilizan los mismos tipos de sensores con el mismo factor y calibración. Ligeras diferencias entre sensores individuales o cambios a medida que el sensor envejece pueden causar que los factores de corrección cambien. Tenga presente también, que la calidad de los sensores catalíticos puede variar dramáticamente de un fabricante a otro.

3.4.3 Sensores infrarrojos

Analizadores y monitores usan tecnologías infrarrojas. Nosotros sólo hablaremos del grupo de instrumentos que son simples, robustos y aptos para el monitoreo de calidad del aire en áreas de trabajo.

a) Principio de operación

Gases cuyas moléculas tienen de dos o más átomos disímiles que absorben la radiación infrarroja en largos periodos de ondas específicas. Esta energía absorbida causa que se incremente la temperatura de las moléculas de gas. El cambio de temperatura se mide como una concentración de gas.

b) Características y aplicaciones

Mínimo Contacto Físico. El monitoreo usando un sensor infrarrojo se logra midiendo la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de gas. Esto es diferente a la mayoría de las otras tecnologías en las cuales los sensores están directamente en contacto con el gas objetivo, que puede causar fallas tempranas. Con sensores infrarrojos, los componentes principales están protegidos por aparatos ópticos y, por esto, el sensor puede ser usado en forma continua, expuesto a altas concentraciones de gas.

Robusto. Los sensores al no estar expuestos directamente al gas, no se queman o se saturan/fallan, ni se alteran debido a una prolongada exposición al gas. Estos problemas son generalmente asociados con otro tipo de sensores. Además, éstos son construidos comúnmente para satisfacer requerimientos antiexplosivos.

Anti Falla. Una pérdida de señal debido a la falla en uno de los componentes activará la alarma. Cuando la lectura de gas del sensor indica cero significa que está funcionando apropiadamente.

Aplicaciones. Los sensores infrarrojos son ideales para aplicaciones de altas concentraciones de hidrocarburos, incluyendo rangos combustibles. También son monitores efectivos para medir el dióxido de carbono.

Typical Point Infrared Short Path Operation

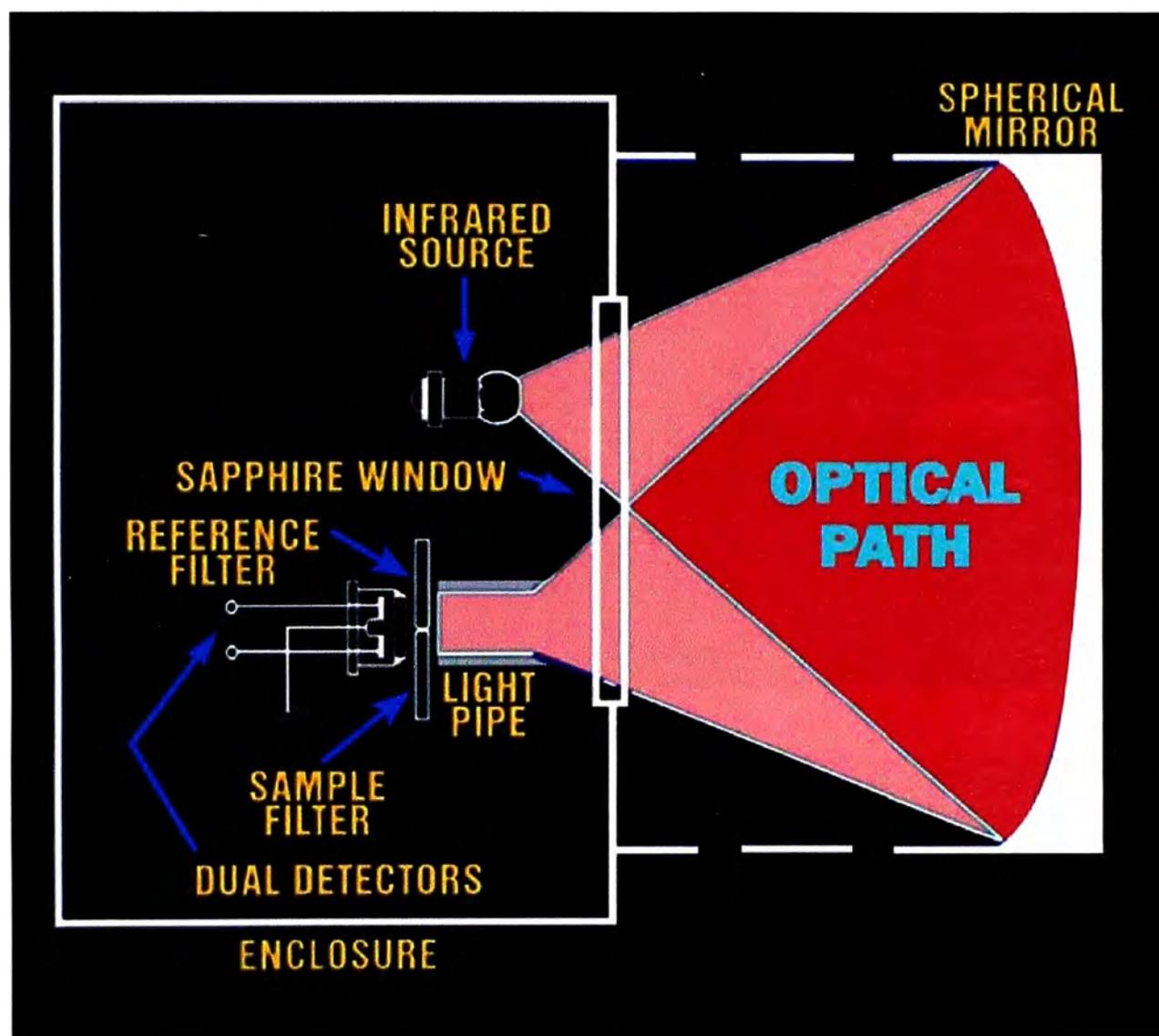


Fig. 3.7 Funcionamiento de sensor infrarrojo

Typical Open Long Path Infrared Operation

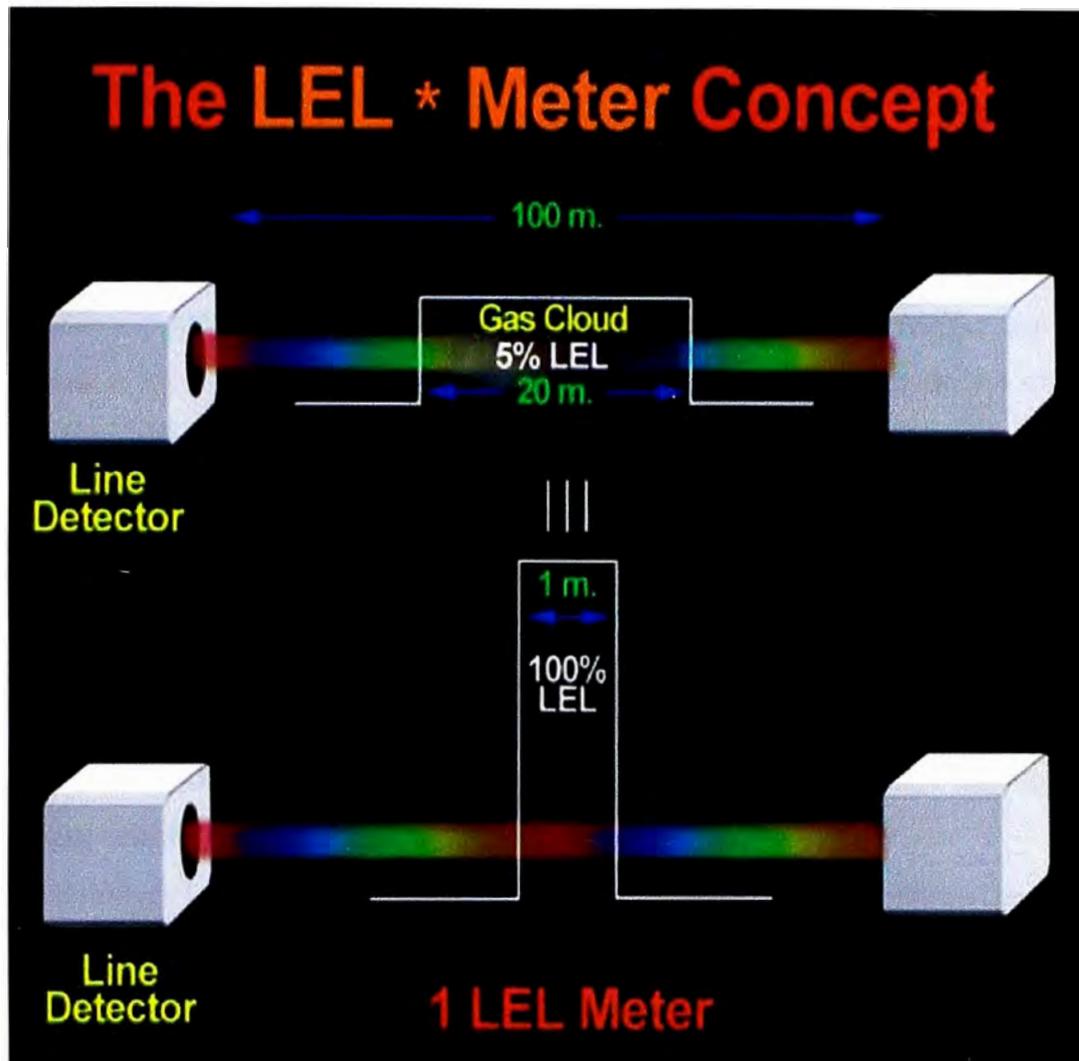


Fig. 3.8 Medición de LEL

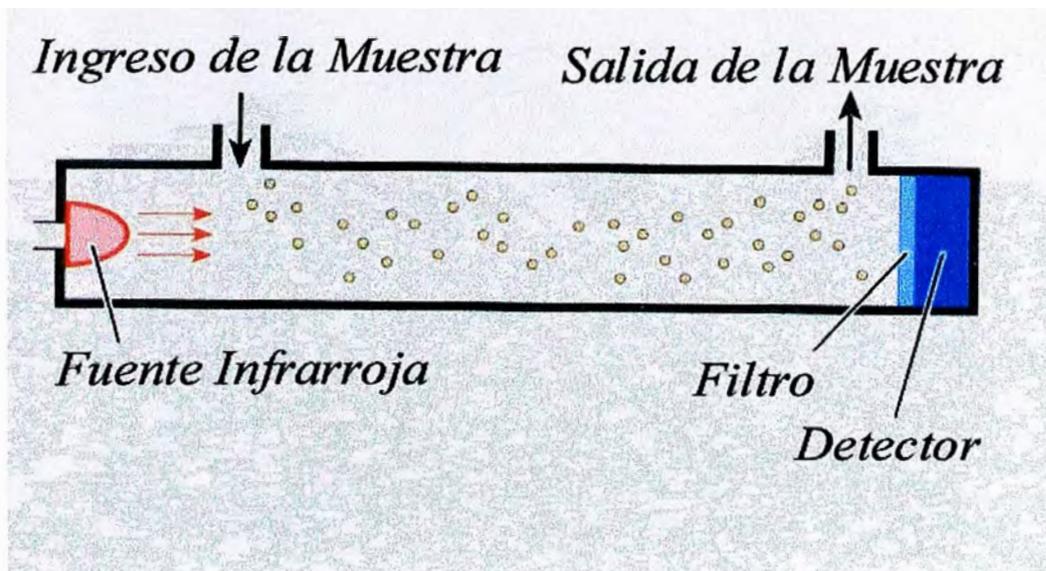


Fig. 3.9 Entrada de gas para Sensor infrarrojo

3.4.4 Detectores de fotoionización

Los detectores de fotoionización (PID) utilizan luz ultravioleta para ionizar las moléculas de gas y se emplean comúnmente en la detección de compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

a) Principio de operación

Una lámpara ultravioleta especialmente construida (UV) genera energía de radiación UV. Las moléculas del gas se ionizan por esta radiación UV, que es medida como una concentración de gas. La lámpara tiene un nivel de radiación de energía expresada en electrón-Volt (eV). La energía establecida para lámparas estándares es de 8.4 eV, 9.6 eV, 10.6 eV y 11.7 eV. La de 10.6 eV es la más práctica porque la lámpara es más robusta que otras. La lámpara de 11.7 eV usa fluoruro de litio que es suave, frágil y fácilmente dañable. Gases con un potencial de ionización por debajo del nivel de salida de la lámpara serán detectados. Por ejemplo, benceno tiene un potencial de ionización de 9.4 eV y es detectable con una lámpara de 9.6, 10.6 o 11.7 eV.

b) Características y aplicaciones

Buena Sensibilidad y Respuesta Rápida. Estos detectores pueden detectar muchos gases a bajas concentraciones con tiempo de respuesta rápido.

Selectividad. Un detector PID detecta todos los gases con un potencial de ionización bajo el nivel de energía de la lámpara.

Sólo Aplicaciones Portátiles. La lámpara necesita ser limpiada a menudo y el instrumento calibrado frecuentemente para mantener la precisión. Por esto, los instrumentos PID no son prácticos para aplicaciones de sistemas multisensor.

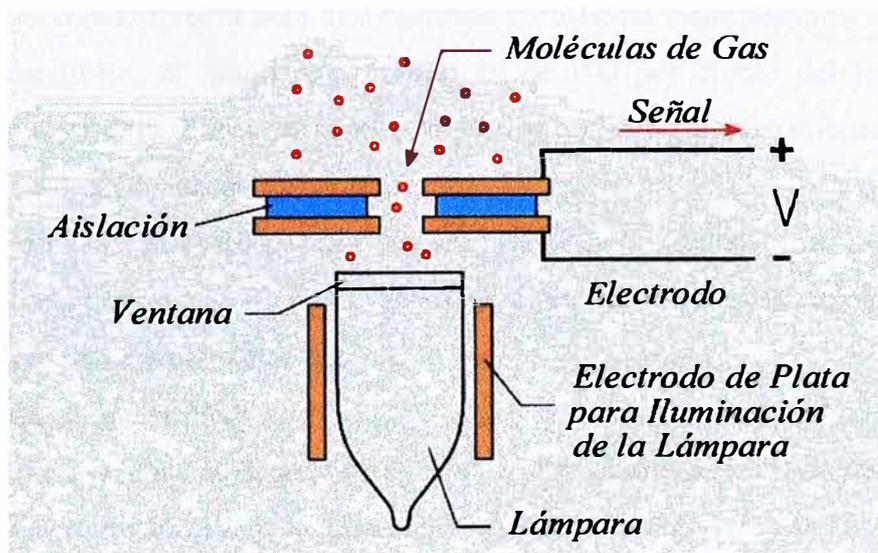


Fig. 3.10 Lámpara de Ionización

Typical Photoionization Sensor Design

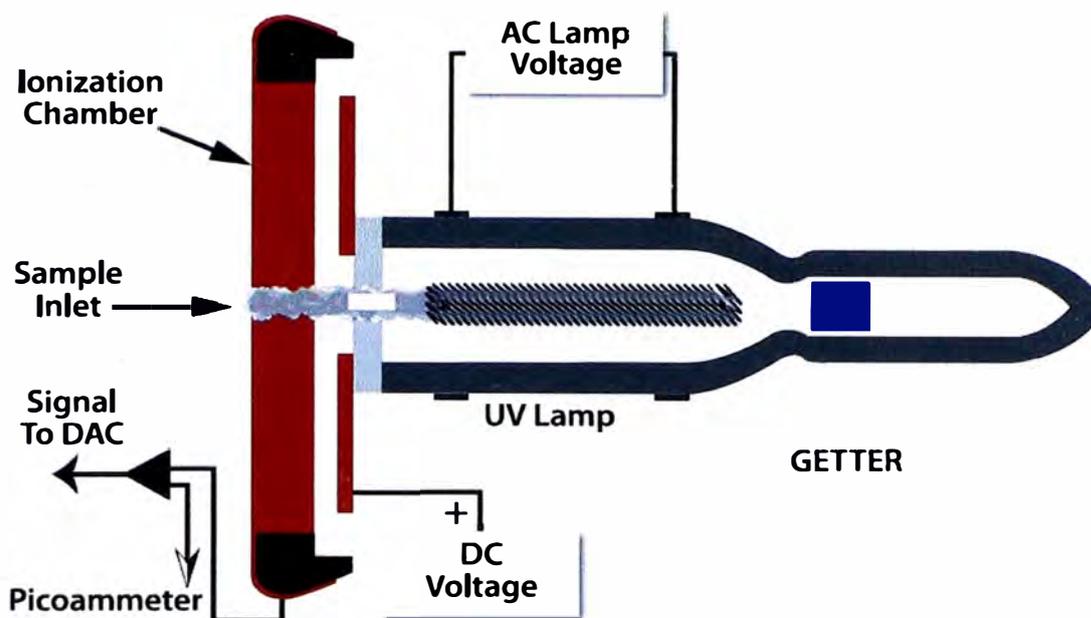


Fig. 3.11 Esquema de sensor de fotoionización

Los sensores descritos son los más comúnmente usados para aplicaciones en el área de calidad del aire y Seguridad en ambiente de trabajo. Generalmente, los monitores de gases tóxicos son usados para la protección de la salud, con el rango del instrumento alrededor de tres a cinco veces más que el límite permisible de exposición. Para monitores de gases combustibles, el rango más común es de 100 por ciento del límite explosivo inferior del gas de interés. Estos sensores son usados en las siguientes aplicaciones:

3.5 Monitoreo estacionario de gases tóxicos

Los sensores electroquímicos pueden ser usados para algunos gases, sin embargo, la expectativa de vida es corta. Hay que verificar cuidadosamente las especificaciones del sensor para hacer una apropiada selección.

3.5.1 Monitoreo de gases tóxicos

El monitoreo de gases tóxicos es importante porque algunas sustancias no pueden ser visualizadas ni percibir el olor y no tienen efectos inmediatos. Así pues el reconocimiento de un gas peligroso en un trabajador puede ser reflejado luego de cierto tiempo o demasiado tarde, después que las concentraciones han llegado a niveles peligrosos o

daños. El grado de peligrosidad que una sustancia posea para un trabajador dependerá de diversos factores tales como: los niveles de concentración de los gases y el tiempo de exposición a estos.

3.6 Monitoreo de gases combustibles

Los sensores de estado sólido, catalíticos o infrarrojos pueden ser usados en instrumentos portátiles o estacionarios. Los sensores catalíticos no son sensitivos bajo 1000 ppm o alrededor de 0,1 por ciento, por lo que no deben ser usados para niveles de mediciones bajas. Los sensores infrarrojos son una buena alternativa para aplicaciones donde el sensor esta continuamente expuesto a altas concentraciones de gas o donde se espera que las concentraciones del gas excedan el rango combustible.

Por otro lado estos sensores necesitaran un mayor control respecto de cada que tiempo se deben de verificar y calibrar ya que estarán algunos de los sensores continuamente expuestos a los gases y indicando lecturas y activando tal vez alarmas.

Como veremos los sensores de gases combustibles; es decir para los sensores catalíticos estos tienen como base principal al conocido Puente Wheatstone. Estos necesitan principalmente al Oxígeno para que el filamento interno del sensor reccione al ingreso de cualquier gas combustible. El sensor infrarrojo a diferencia del catalítico este no necesita de la presencia de Oxígeno para que comience a detectar los gases o vapores combustibles é interferentes que siempre están presentes en las mediciones y que algunos se forman de las diversas reacciones que hay en estos Calderos o áreas donde haya posibles emisiones de gases.

3.7 Detectores de llama

Dentro de los dispositivos de campo, los detectores de llama son seguramente unos de los más importantes en un Sistema de Seguridad de Caldera. En la parte superior de la Figura 3.14 se muestran las curvas de Foto-sensibilidad vs. Longitud de onda, de los sensores más habitualmente utilizados.

La curva S1 es la del sensor del detector ultravioleta (UV) y la curva S3 la del sensor de sulfito de plomo del detector de infrarrojos (IR).

En la parte central inferior de las gráficas (de 400 a 800nm.) se muestra la zona de posible radiación visible por el ojo humano. En la parte inferior de la siguiente figura se muestran las curvas de Energía emitida vs. Longitud de onda, de las llamas de los combustibles más habituales.



Fig. 3.12 Zonas de la Llama

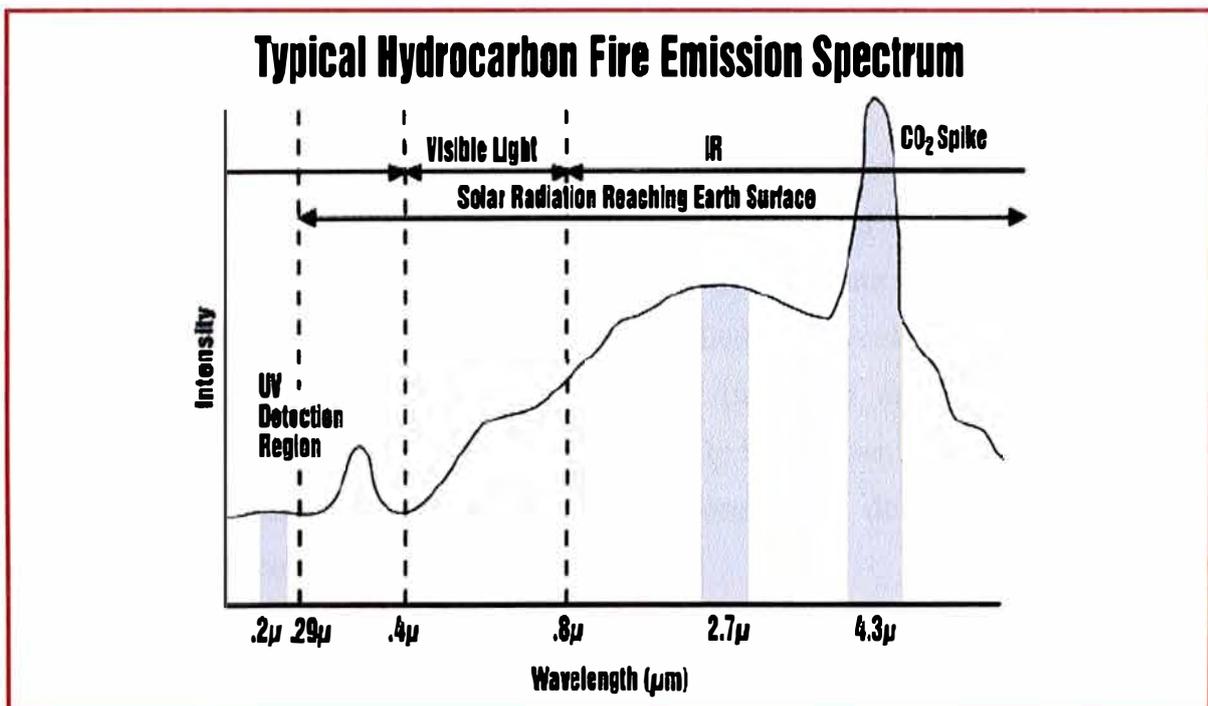


Fig. 3.13 Espectro de Radiación

La F1 corresponde a la llama de fuel-oil. Se observa que emite radiación UV y mucha IR. La F2 corresponde a la llama de carbón pulverizado. Se observa que emite poca radiación UV y mucha IR. La F3 corresponde a la llama de gas. Se observa que emite mucha radiación UV y mucha IR. La F4 corresponde a la radiación emitida por la pared caliente de la caldera. Se observa que sólo emite radiación IR.

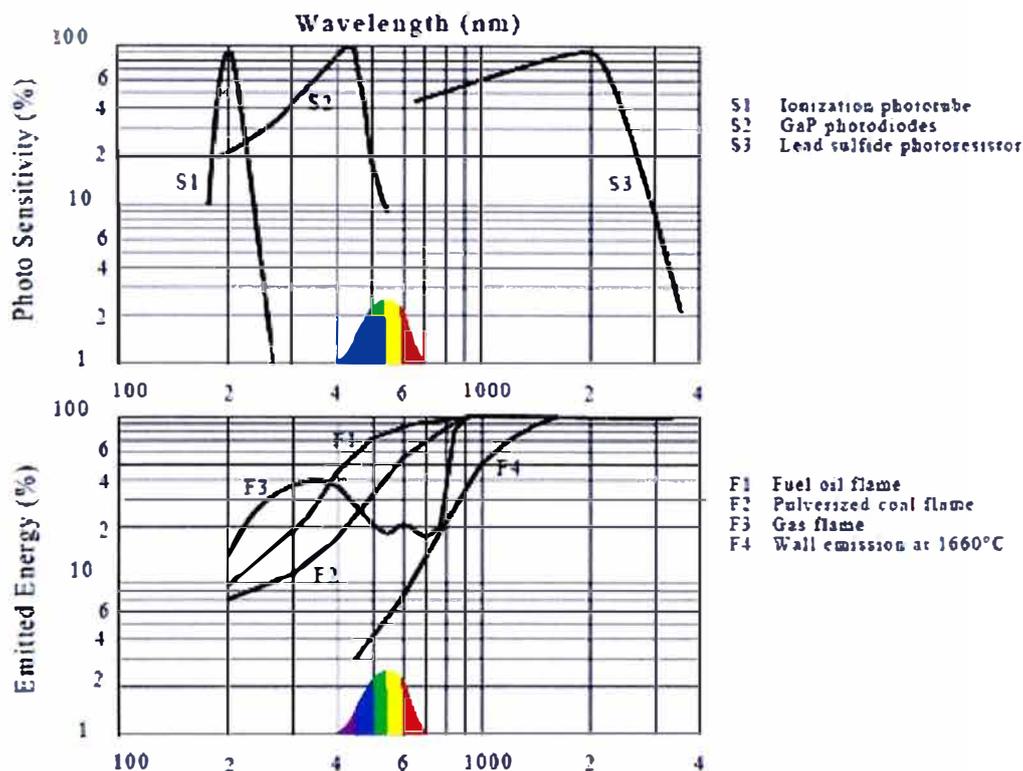


Fig. 3.14 Sensibilidad Infrarroja

De la observación de estas curvas se pueden sacar algunas conclusiones:

En primer lugar parece claro que para el gas debemos utilizar el detector UV y para el carbón pulverizado el detector IR/Flicker. La llama de gas emite también mucha radiación IR pero de una frecuencia similar a la de la pared caliente de la caldera. El efecto Flicker es el de pulsación de la llama. La frecuencia de pulsación es distinta según sea el combustible, la zona de la llama y las condiciones de la combustión. Para ello es bastante importante que el amplificador de llama incorpore filtros de frecuencia que puedan discriminar unas frecuencias de otras.

En segundo lugar debemos tener cuidado con las radiaciones de baja frecuencia de la pared caliente pues pueden producir señales falsas de llama si no las filtramos. Cuando utilizamos la zona IR debemos, casi siempre, evitar las bajas frecuencias.

3.8 Límites permisibles de los gases

Para comprender como funcionan los detectores de gases, es importante entender lo que significan Límite Explosivo Inferior (LEL) y el Límite Explosivo Superior (UEL). Cuando ciertas proporciones de vapores combustibles se mezclan con el aire y existe una fuente de ignición puede ocurrir una explosión. El rango de concentraciones en el cual esta reacción puede ocurrir se llama rango explosivo. Este rango incluye todas las concentraciones en las que una explosión ocurrirá o una llama se propagará si la mezcla se enciende (ver Anexo A).

Límites de Explosividad

Substancia Gas/Vapor	Densidad (Aire = 1)	Límite de explosividad % por volumen	
		Inferior	Superior
Acetileno	0.9	2.5	100
Acetona	2.0	2.6	12.8
Alcohol etílico	1.6	3.3	19
Amoníaco	0.58	15	28
Formaldehído	1.0	7	73
Gas Natural		3.8 a 6.5	13 a 17
Gasolina	3-4	1.4	7.6
Hidrógeno	0.07	4	75
Iso butano	2.01	1.8	8.4
Metano	0.55	5	15
Monóxido de carbono	0.97	12.5	74
N Pentano	2.48	1.5	7.8
Propano	1.52	2.2	9.5
Tolueno	3.14	1.3	7.0

Tabla 3.2 Límites de Explosividad

También tener presente que para que ocurra una explosión, tienen que estar presentes tres elementos:

- 1.- Una fuente de Combustible
- 2.- Suficiente Oxígeno (mayor que 10-15%) para oxidarlo ó prender el combustible.
3. - Una fuente de ignición (chispa) para iniciar el proceso.

Esto se conoce como el triangulo de fuego; pero si uno de los componentes no está presente, no ocurrirá la combustión.

Entonces para que se produzca una explosión en un area determinada debe de existir la suficiente cantidad de vapor o gas. Pero demasiado gas puede desplazar el Oxígeno en un area y apagar la fuente de combustión. Ahora veamos porque sucede esto, existen limites permisibles bajos y altos de concentraciones de gas donde la combustión puede ocurrir. Estos limites son conocidos como Lower Explosive Limit (LEL) y Upper Explosive

Limit (UEL).

Para que una sustancia combustione, la atmósfera debe de contener la cantidad de mezcla correcta de combustible y Oxígeno (aire). El LEL indica la mínima cantidad de gas la cual puede estar presente para la combustión y el UEL indica la máxima cantidad de gas. Cualquier concentración de gas o vapor que caiga dentro de estos dos límites se encuentra en un rango inflamable (explosivo). Diferentes sustancias tienen diferentes anchos de rango explosivos, algunos son muy anchos y algunos son muy angostos.

Por otro lado para determinar la composición de una atmósfera, deben de usarse instrumentos confiables en la obtención de muestras de aire. De ser posible no abrir el área de entrada del espacio antes de que este paso se haya llevado a cabo. Cambios bruscos en la composición atmosférica dentro del espacio confinado pueden causar reacciones violentas, ó diluir los contaminantes en dicho espacio, dando falsas lecturas.

Dentro del área de trabajo deberá hacerse un muestreo completo en varias posiciones. Algunos gases son más densos que el aire y tienden a acumularse en la parte de abajo del espacio confinado. Otros son más livianos y normalmente se encuentran en la parte de arriba del espacio. Existen sin embargo otros gases que poseen el mismo peso molecular que el aire, y pueden encontrarse en variadas concentraciones en todo el espacio. Esta es la razón por la cual deben de obtenerse muestras en las partes de arriba, media y de abajo del espacio confinado para detectar los gases y vapores a diferentes concentraciones; los resultados tendrán un impacto directo en la selección de los equipos adecuados de protección necesarios para realizar una labor en el área.

3.9 ¿Cuándo se deben calibrar los instrumentos portátiles?

Antes de responder a esta pregunta debemos considerar que los instrumentos se deben calibrar por varias razones:

- Los sensores se van degradando paulatinamente en forma normal. Esto implica que a medida que pasa el tiempo los instrumentos indican menos para una misma concentración de muestra.
- Los sensores que detectan Oxígeno y gases tóxicos son por lo general sensores electroquímicos. Estos sensores se degradan más rápidamente cuando están expuestos a baja humedad y altas temperaturas.
- Existen además algunos compuestos que contaminan los sensores haciendo perder rápidamente su sensibilidad. La pérdida de sensibilidad se compensa en la mayoría de los instrumentos en un proceso de ajuste electrónico denominado Calibración. Este procedimiento consiste en aplicar un gas patrón, ajustando así el instrumento para que su

lectura sea idéntica al valor indicado por el cilindro patrón.

Sin embargo no podemos establecer a priori cada cuanto tiempo se debe calibrar el equipo ya que el desgaste también depende de las condiciones de uso y almacenamiento del instrumento.

La forma más conveniente de resolver este problema es realizar pruebas con algún gas de verificación, es decir, aplicar un gas de cierta concentración conocida y comprobar la lectura del instrumento. Si la variación es mayor a cierto porcentaje, entonces será necesario calibrar el equipo.

Por último es necesario destacar que toda calibración debe ser efectuada por personal certificado y utilizando un gas patrón certificado y trazable al NATIONAL INSTITUTE FOR STANDARDS AND TRACEABILITY (NIST).

3.10 Guía para seleccionar el lugar de ubicación de los sensores

Determinar la ubicación de los sensores, después de realizado un análisis de los lugares peligrosos dentro las instalaciones ó área de trabajo.

Luego de haber realizado un monitoreo del area a supervisar y tener conocimiento de que gases estarán presentes en concentraciones altas, además de conocer que gases son mas densos y cuales menos densos comparados con el aire determinaremos la ubicación del sensor, si es necesario colocarlo en un ambiente cerrado donde no es accesible entonces el sensor tendrá que ser remoto, pero el controlador (display) en todo instante deberá de ser visible a las personas que trabajan en dicha zona.

Realizar diagrama indicando todos los posibles lugares de fugas, así como la peligrosidad de cada lugar de riesgo potencial.

Existen 2 categorías principales de lugares peligrosos:

Posibles puntos de descarga de gas, estos son lugares donde posibles gases peligrosos pueden ser liberados, tales como los sellos de las válvulas de presión, empaquetaduras y juntas de compresión y dilatación.

Áreas de posible contacto, son lugares donde los gases peligrosos pueden poner en peligro a los trabajadores u ocasionar daños a los equipos.

Tener en consideración el comportamiento de los gases, las condiciones de flujo de aire, así como también la posible acumulación de gases antes de ubicar los sensores. Además considerar la dirección del viento para determinar las áreas donde se acumulan los gases.

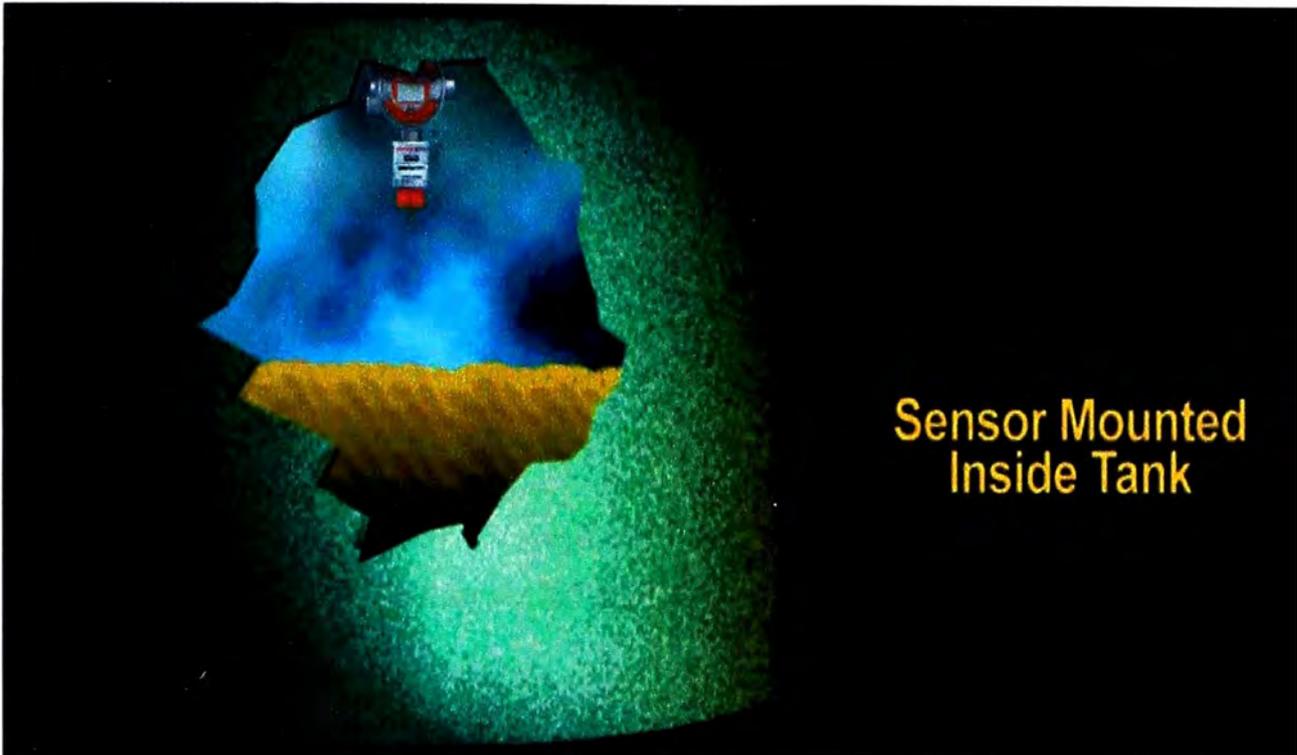


Fig. 3.15 Sensor dentro de un tanque

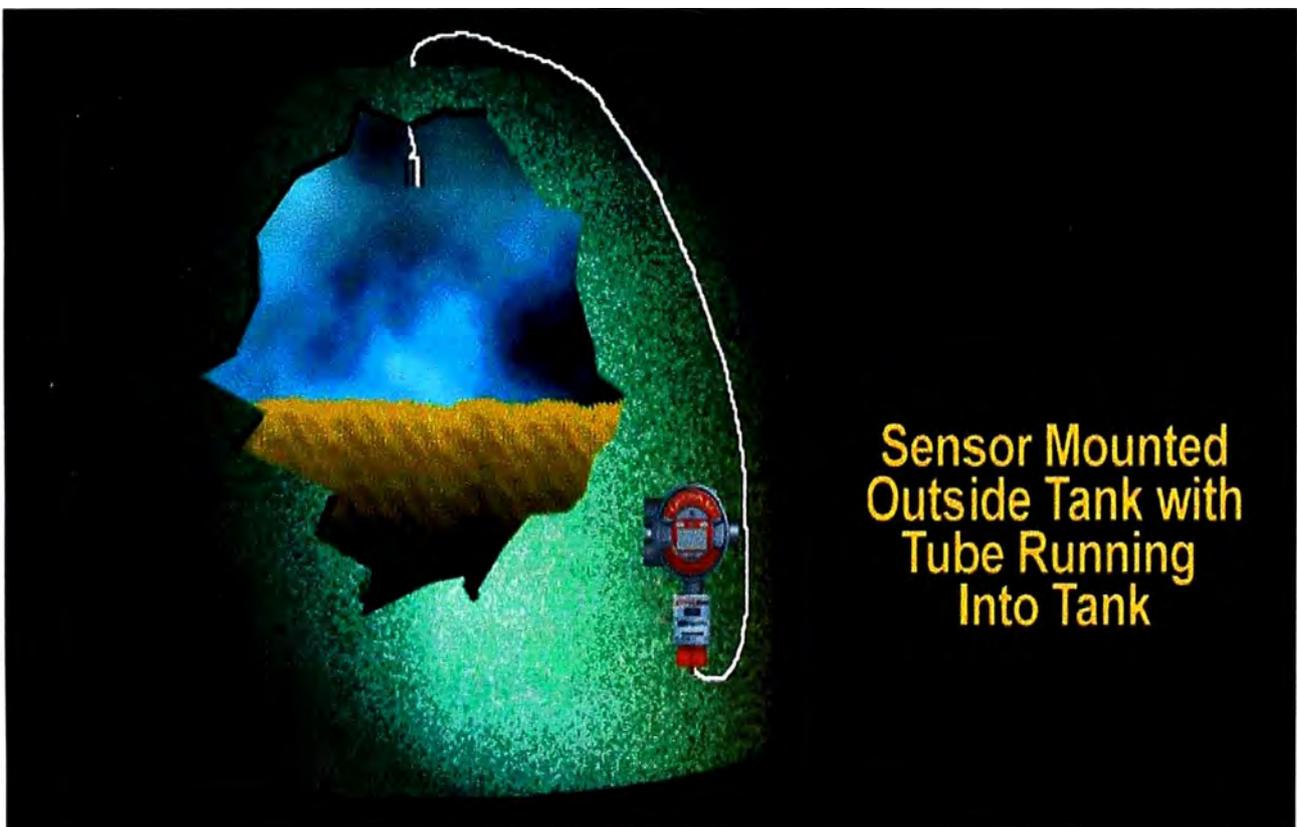


Fig.3.16 Sensor fuera del tanque

Las características del químico y el ambiente en el cual está localizado, deberán de ser considerados en el desarrollo de la estrategia de monitoreo. Como se menciono anteriormente las variables que afectan a la estrategia son:

- Densidad del vapor
- Presión del vapor
- Gravedad específica
- Solubilidad en el agua
- Temperatura ambiental
- Dirección del viento

Colocar los sensores en los posibles lugares en donde haya gas o fuga de gas.

Colocar los sensores de gases combustibles entre la fuente de ignición y la posible fuga de gas.

Colocar los sensores tóxicos (y deficiencia de Oxígeno) entre las posibles fugas de gas y el área de trabajo y en la zona de respiración del trabajador.

Ubicar los sensores en una posición que estén protegidos del agua o acumulación de polvos en la cabeza del sensor (lo cuales pueden impedir la difusión del gas en el sensor).

Tener en consideración el fácil acceso para el mantenimiento y calibraciones periódicas.

Usar un sensor remoto para ubicaciones altas o inaccesibles.

Evitar colocar los sensores cerca a transmisores de radio u otras fuentes que produzcan RFI, para producir la posible interferencia RFI.

Evitar lugares donde partículas en el aire puedan cubrir ó contaminar el ó los sensores, como habitaciones con pinturas.

Tener en consideración la de densidad de vapor de los gases a monitorear, cuando se comparan con el aire.

3.11 Clasificación de áreas peligrosas

El sistema de clasificación de los lugares peligrosos fue diseñado para promover la seguridad y uso de equipos eléctricos en ambientes definidos como "Lugares Peligrosos" (Hazardous Area). Un área peligrosa es un lugar en el cual la presencia potencial de un gas inflamable o mezcla de aire requieren una especial precaución ó cuidado para reducir la posibilidad de que cualquier dispositivo electrónico en un área peligrosa pueda empezar una fuente de ignición. En aplicaciones de detección de gases, las áreas peligrosas son generalmente definidas por dos factores: el tipo de gas que puede estar presente y el grado de probabilidad que este presente en cualquier instante. Las áreas peligrosas han sido ligeramente diferenciadas en varios países, pero en esencia los resultados son los mismos.

Gases	Densidad del gas	Instalación del sensor
Dióxido de Carbono, hidrocarburos pesados	Mayor que el aire	más cerca del suelo
Hidrógeno, Metano	Menor que el aire	cercano al techo
Monóxido de Carbono, Nitrógeno	Similar al aire	de acuerdo a la corriente de aire, o cercano al nivel de respiración (usualmente 4 a 6 pies del piso)

Tabla 3.3 Densidad del gas y ubicación del sensor

Las áreas están clasificadas de acuerdo a la probabilidad que estas producirían una combustión peligrosa a los dispositivos electrónicos. En un área peligrosa cada aparato podría poseer la respectiva aprobación para una segura operación en el área.

3.11.1 Clasificación de área

Cada área es clasificada de acuerdo a la probabilidad que el peligro este presente en cualquier instante. Hay dos importantes clasificaciones de lugares peligrosos:

a) Clasificación I: Usado en instalaciones de Norteamérica (US National Electric Code and Canadian Electric Code). Cada área está dividida en clases y grupos.

Clase I. - Gases o vapores inflamables presentes en el aire en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o de ignición.

Clase II. - Presencias de polvos combustibles.

Clase III. - Fibras o partículas suspendidas, fácilmente inflamables, pero que no es probable que estén en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas.

b) Clasificación II: Usado en Europa (CENELEC) y International Electrotechnical Committee-(IEC) y países alineados como Australia; también se usa en algunas de muchas instalaciones de Norteamérica. Estas áreas están categorizadas por Zonas.

3.11.2 Aprobaciones para instalaciones de sistemas

Los sistemas de detección de gases pueden ser usados en ambos lugares peligrosos y no peligrosos. Existen dos métodos de protección aprobados para equipos eléctricos en estos tipos de áreas y son:

Explosionproof, Intrínsecamente Seguros.

a) Explosionproof

Los dispositivos previenen una explosión en un lugar peligroso para la contención de cualquier combustión dentro de un dispositivo y evitar así la propagación en la atmósfera que rodea el aparato. Esta técnica se utiliza para instrumentos cuyo nivel de potencia es muy alto y no puede ser eliminado.

La conexión de los cables para áreas clasificadas como Explosion Proof deben de estar contenidas en conductos especiales (Conduit).

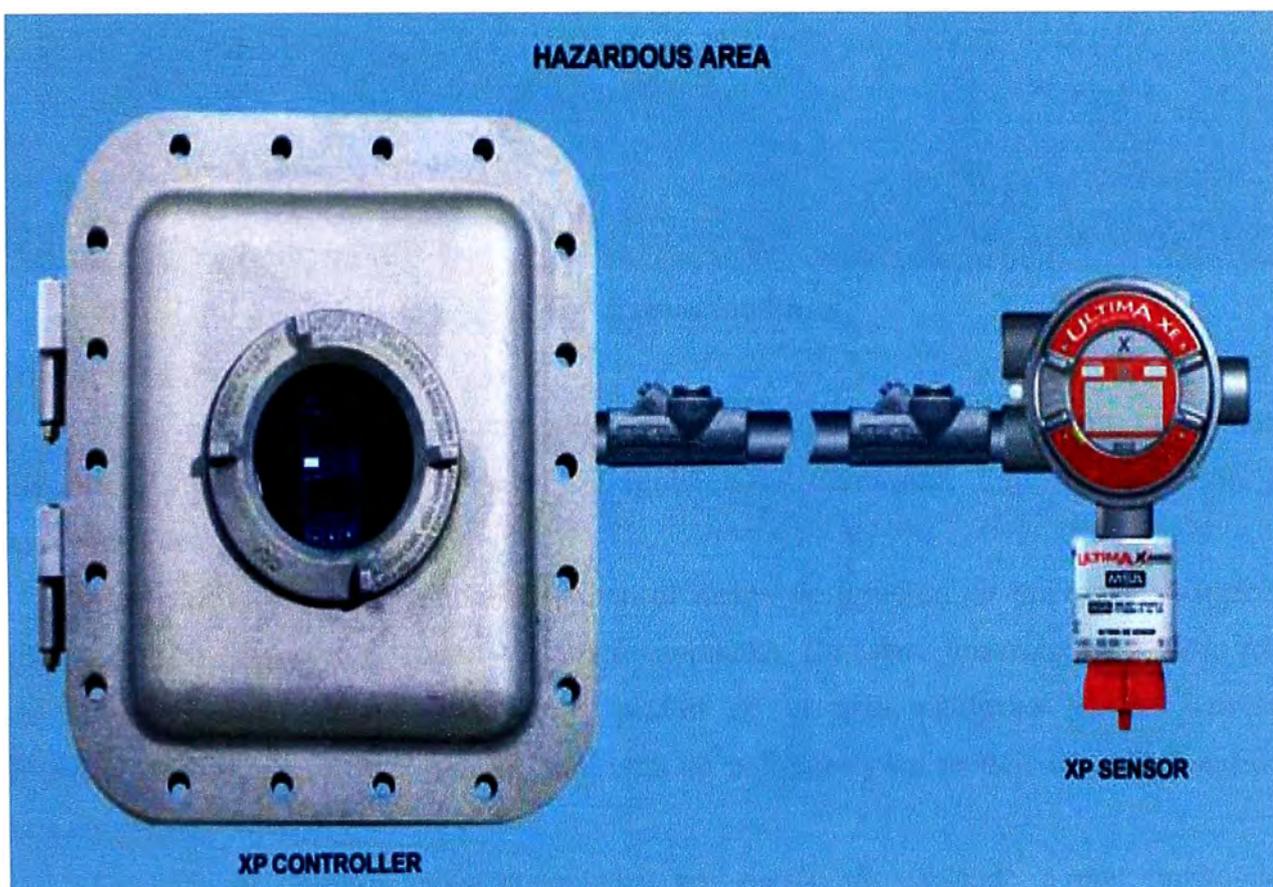


Fig. 3.17 Explosion Proof

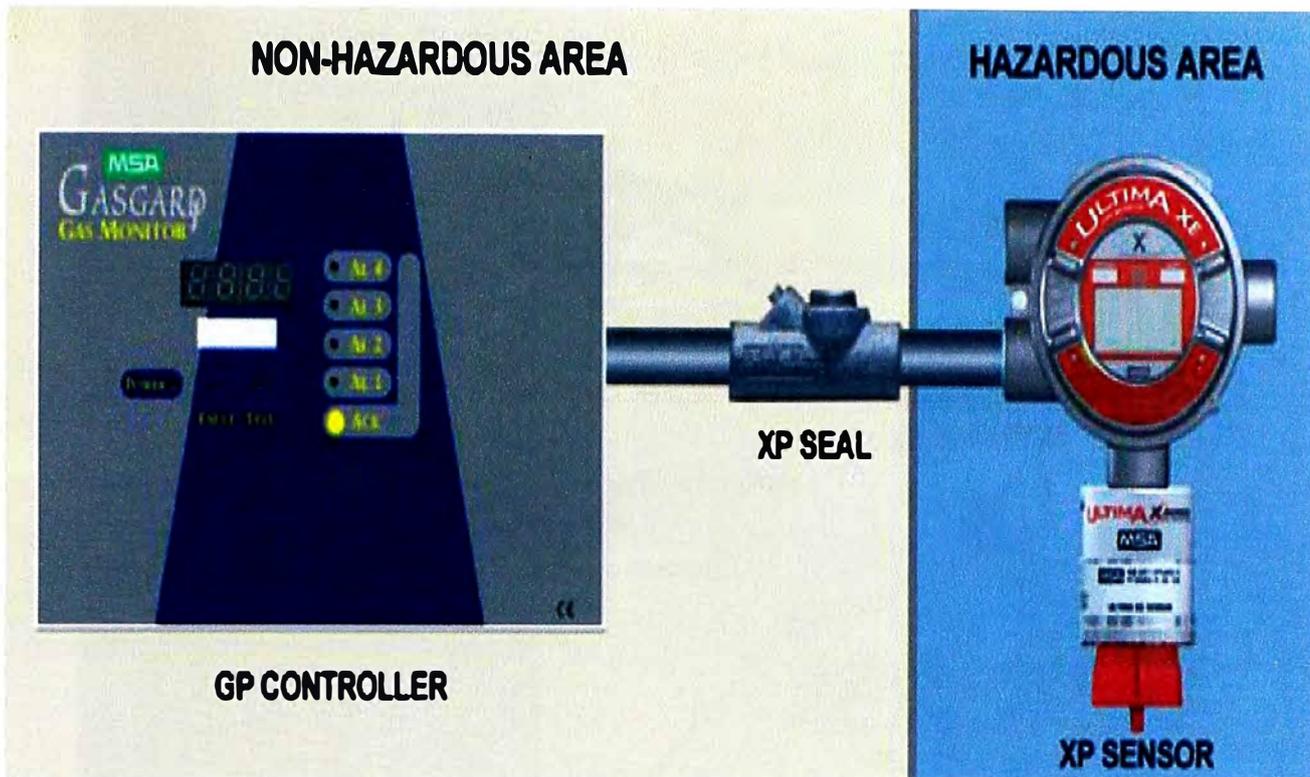


Fig. 3.18 Explosion Proof

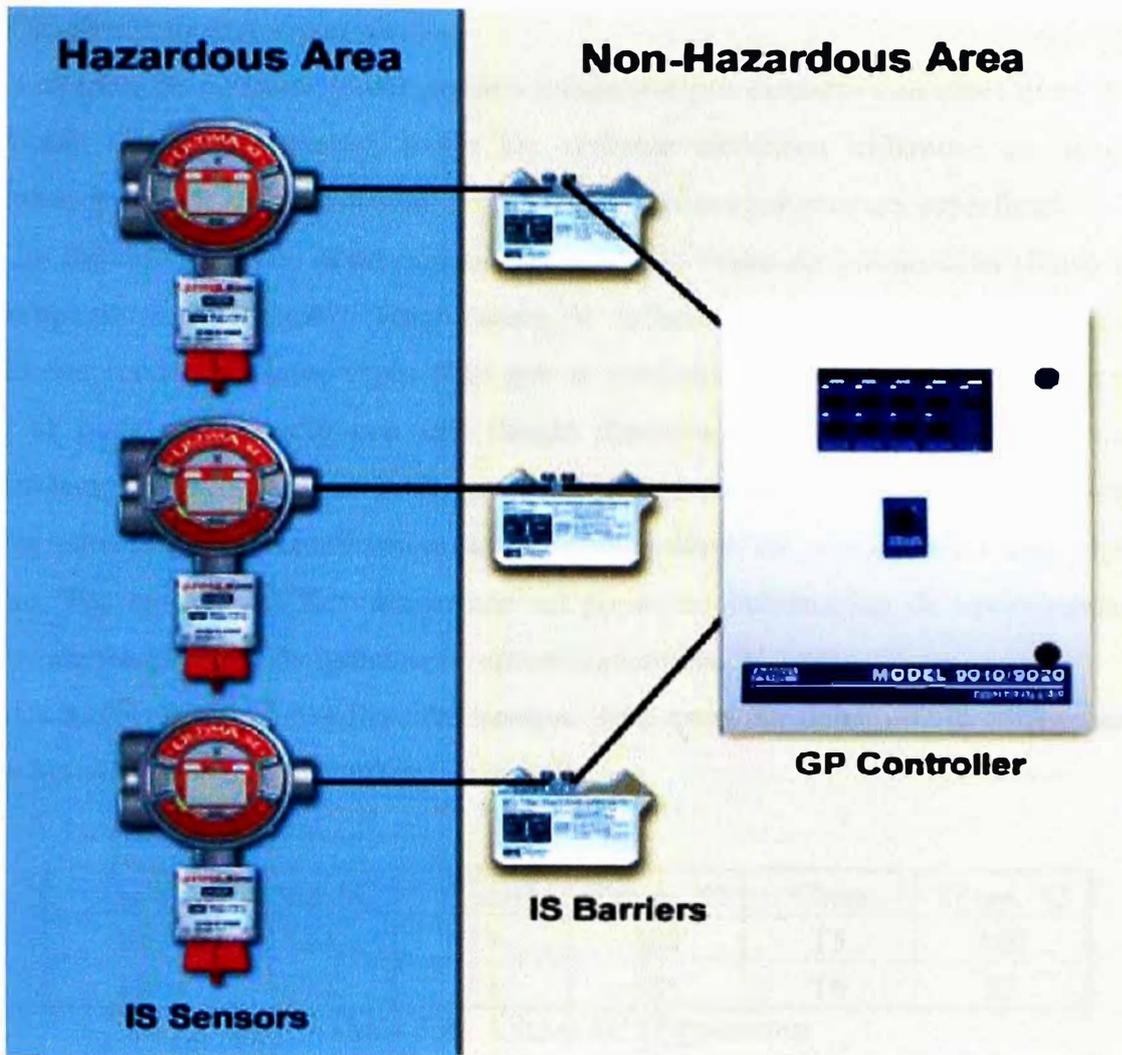
b) Intrínsecamente seguro

Estos dispositivos previenen explosiones en lugares peligrosos para un diseño eléctrico en el cual la probabilidad de ignición es eliminada, limitan la energía y temperatura superficial.

Los componentes protegidos eliminan el riesgo de ignición de provocar chispas o incrementar la temperatura superficial del componente. En estas situaciones, un ensamble de sensor Intrínsecamente seguro es ubicado en el area peligrosa y una barrera Intrínsecamente Segura es instalada en el area no peligrosa para reducir la posibilidad de una chispa eléctrica.

Cuando los equipos están conectados por medio de cableado a una fuente de alimentación situada en una area segura deben ser considerados los posibles fallos del sistema de alimentación al evaluar la seguridad de los equipos del area segura, area peligrosa y su cableado. Algunas de las técnicas para separa el area segura de la peligrosa es usando Barrera Zenner o también Aislamiento Galvánico.

El argumento principal a favor de la barrera Zenner es su simplicidad y bajo costo, aunque no es del todo cierto, porque en pequeñas instalaciones, el uso de aisladores elimina la necesidad de usar fuentes de alimentación y barras de cobre para la conexión a tierra.



3.19 Intrínsecamente Seguro

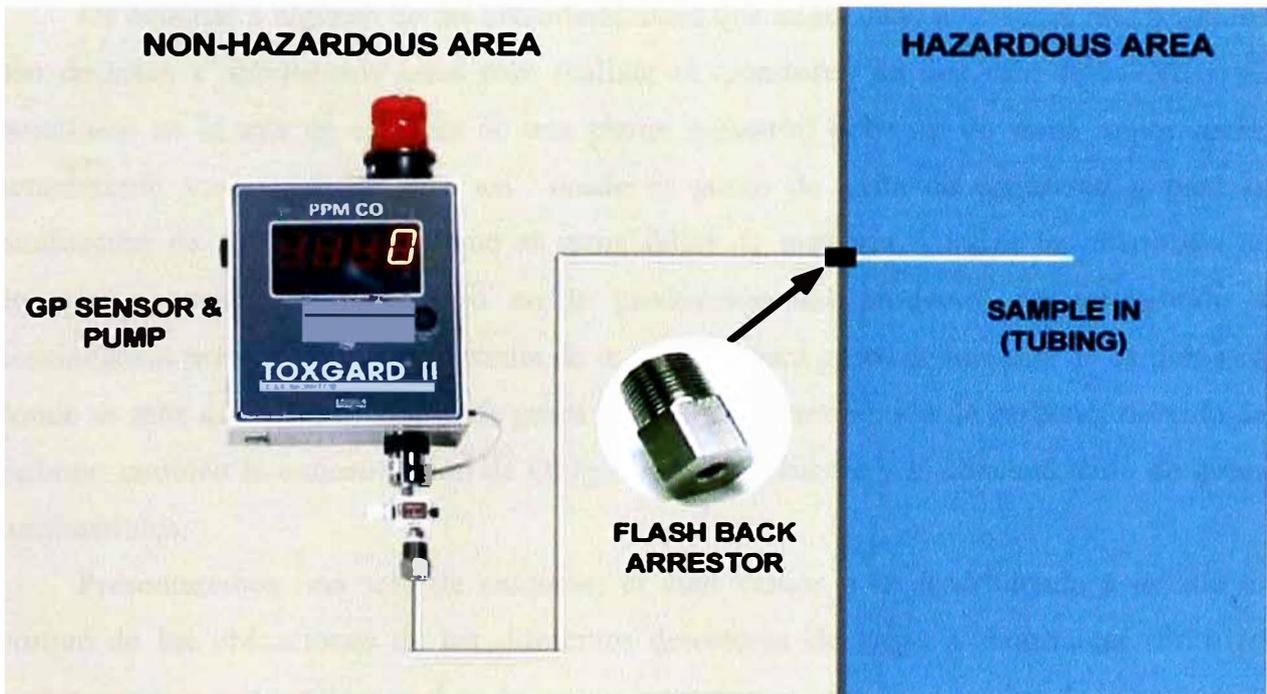


Fig. 3.20 Flameproof

3.12 Clasificación de temperaturas

Las mezclas de gases y aire pueden inflamarse por contacto con una fuente de calor superficial. Consecuentemente, todos los aparatos eléctricos utilizados en atmósferas peligrosas deben ser clasificados de acuerdo a su máxima temperatura superficial.

Es importante hacer notar que no es lo mismo Punto de Inflamación (Flash Point), que temperatura de ignición. Temperatura de Inflamación es la mas baja a la cual un liquido desprende suficiente vapor para que se produzca la ignición instantánea cuando el vapor se pone en contacto con una chispa eléctrica o la llama. Esta temperatura es apreciablemente mas baja que la de ignición, la cual corresponde a la que se desprenden vapores para mantener combustión continua al ponerse en contacto con una superficie caliente. Por ejemplo el Keroseno tiene un punto de inflamación de aproximadamente 40°C y una temperatura de ignición de aproximadamente 210°C.

La temperatura de clasificación siempre debe estar por debajo de la correspondiente a la de ignición. La clasificación es la siguiente:

Clase	Temp. °C	Clase	Temp. °C	Clase	Temp. °C
T1	450	T3	200	T5	100
T2	300	T4	135	T6	85

Tabla 3.4 Clases de Temperatura

3.13 Monitoreo en la sala de calderos

De acuerdo a algunas de las consideraciones que se ha dado anteriormente, hagamos uso de estas y apliquemos estas para realizar el monitoreo de una sala de calderos. El monitoreo en la sala de calderas de una planta industrial debe ser de suma importancia; actualmente y siempre ha sido así desde el punto de vista de seguridad y para la producción de la empresa; ya que si estos fallan la mayoría ó todas las maquinas se detendrían, produciendo un paro en la producción del producto. En tal sentido a continuación presentaremos un sistema de monitoreo para gases de una sala de calderos en donde se sabe que hay emisiones de gases tóxicos como monóxido de carbono, dióxido de carbono también la concentración de Oxígeno en el ambiente y la concentración de gases combustibles.

Presentaremos una sala de calderos; el cual vamos a ir describiendo a detalle el porqué de las ubicaciones de los diferentes detectores de gases a monitorear. Primero comenzaremos por analizar cual es de mayor importancia para la seguridad de la persona y veremos que todos son de gran importancia ya sea que el caldero funcione a gas ó petróleo

esto debido a que todos los gases por las diferentes características que presenten cada uno tienen un grado de toxicidad y de explosividad el cual puede causar daños a la seguridad humana y a la empresa.

Comenzaremos por la ubicación de los sensores de gases combustibles; estos sensores deben de ser ubicados cerca donde están ubicadas las conexiones ó donde pueda haber una posible fuga de gas ó petróleo que es el combustible con el cual funciona el caldero. Estos detectores de gases combustibles deben de ser a prueba de explosión (Explosionproof) ya que cualquier chispa que se pueda producir en la tarjeta esta no salga al exterior del compartimiento del detector de gas y pueda producir una explosión. Ya que como se explico antes para que pueda producirse una explosión es necesario tres agentes: comburente o combustible, oxígeno y una chispa o una reacción química. Dichos detectores de gas deben de estar ubicados a la vista de la persona para que pueda determinar si esta en un área segura ó no; la ubicación deben de ser tal que sea accesible para realizar el mantenimiento y calibración del equipo cuando este sea requerido. Una característica adicional que tendrían los sensores de gases combustibles es que son Infrarrojos es decir que estos pueden detectar la presencia de gases combustibles sin necesidad de que haya presencia de Oxígeno ya que los sensores Catalíticos si necesitan la presencia de Oxígeno para que puedan detectar la presencia de gases, esta ventaja de los sensores infrarrojos es una característica importante sobre los catalíticos ya que son más efectivos y necesitan menos mantenimiento que los otros.

Los sensores de oxígeno deben de ser ubicados en lugares en donde sean visibles para la persona, en las paredes de la sala del caldero en frente de cada uno de los calderos y alrededor costados del caldero esto para que cuando se haga un mantenimiento del caldero se pueda visualizar si hay la suficiente cantidad de oxígeno (20,8% Vol.) para poder realizar una tarea en dicha área ó que este dentro de los límites permisibles 19,5% - 22,0%. Los sensores de Monóxido de Carbono deberán de ser ubicados en los lugares cerca a donde se ubiquen los de oxígeno ya que estos deben de ser visualizados al mismo tiempo que los de oxígeno ya que tiene casi el mismo o cercano peso molecular comparado con el aire. Como el monóxido de carbono es un gas tóxico que en concentraciones determinadas 25 ppm por encima se considera dañino para la persona y la salud es decir primero mata y luego es explosivo es un gas altamente dañino. La característica de estos sensores es que son electroquímicos en tal sentido van a necesitar un mayor mantenimiento y calibración que los sensores Infrarrojos.

Todos estos sensores serán monitoreados desde una sala de control ubicada fuera del

área de los calderos; los sensores deberán de tener señales de salidas de 4 – 20 mA las cuales serán cableadas hacia un monitor el cual debe de tener entradas para cada uno de los sensores ubicados y la capacidad de expandirse de ser necesario para poder colocar mas sensores.

3.14 Sistema de detección de gases

El sistema de monitoreo y detección de gases que se presentara a continuación estará debidamente regido bajo normas estándares americanas.

Los módulos de cada cabeza de sensor ubicados en lugares ya establecidos anteriormente ya sea de forma remota o directa; estos serán cableados a través de tuberías especiales respetando las distancias mínimas permitidas dadas en los datos o especificaciones técnicas de los equipos. Los cables (señales de salidas 4 -20 mA) serán llevados por tuberías de acero inoxidable hasta un centro de control remoto en el cual se conectarán a un panel monitor con entradas para los diferentes tipos de sensores que se colocarán en la sala de calderos además con disponibilidad de colocar mas tarjetas para una futura colocación de mas sensores en alguna otra parte de la planta u otra sala donde se emitan gases contaminantes dañinos para la salud humana.

La distribución de la ubicación de las diferentes cabezas de los sensores debe ser tal que cumpla con las características propias de cada tipo de gas a monitorear ya que como se sabe no todos los gases van a tener la misma densidad o ser mas o menos pesados que el aire y necesitarán ser colocados a unos cuantos centímetros del suelo o del techo de la sala de calderos; tener en cuenta también los posibles puntos donde hayan fugas de gases o vapores.

Los detectores de gases tendrán comunicación tipo ModBus y HART deben ser tal que se puedan conectar a través de la red o un SCADA para poder realizar la supervisión y monitoreo de la sala de calderos. Las especificaciones técnicas de los detectores de gases y del monitor ambos deben de tener el mismo tipo de comunicación así como las velocidades de transmisión para poder sincronizarlas y puedan comunicarse.

Las cabezas de los sensores podrán ser colocadas conjuntamente con su respectivo display (con su Housing) o quizá necesite ser colocado en forma remota dependiendo de la ubicación o de donde se desea monitorear una posible fuga de gas o vapor; además de que hay que considerar que los display deben de estar a simple vista para visualizar las concentraciones de los mismos. De otro lado la ubicación de los sensores deben de ser tal que sea posible y accesible el mantenimiento y calibración de estos siempre que lo requieran además de cumplir con las especificaciones que indique el fabricante.

Como se menciono anteriormente las tuberías por donde estarán canalizadas serán de acero inoxidable ya que debido a la humedad y altas temperaturas que se dan además de las reacciones químicas que se den en el lugar deben de estar bien protegidos los cables de señal para que no puedan deteriorarse. Dichas tuberías deben de estar separadas de las líneas por donde se transporta el combustible (gas), además de las líneas de vapor para evitar recalentamiento de los cables. El cable a utilizar para el transporte de las señales de los detectores deben de ser apantallados para evitar que posibles interferencias (ruidos) que se puedan dar.

Algunas de las características más resaltantes de estos detectores de gases son que tienen Protocolos de comunicación abiertos es decir que comparten un estándar con varios protocolos diferentes.

La supervisión del sistema de monitoreo de gases de la planta de Calderos debe de configurarse de manera que cada detector de gas (O_2 , CO, CO_2 , GC) sus niveles de alarmas estén seteados de acuerdo a los niveles mínimos y máximos permisibles según las normas ya estipuladas.

Por otro lado si alguna de las alarmas sobrepasara los niveles mínimos ó máximos para los cuales están configurados se encenderá o activara una alarma (luminosa, audible) indicando que hay un exceso de gas ó peligro de alguna explosión. El sistema de alarmas debe ser tal que cada que se active una de ellas deben de registrarse y almacenarse en un registro.

Las salidas de relé de cada detector de gases activarán las alarmas para indicar que alguno de los sensores ha detectado una elevación de nivel de gas en un instante de tiempo en dicho instante se deben de activar los extractores de aire para limpiar el área hasta que se logre estabilizar el ambiente y lograr que las alarmas se desactiven. El área de las calderas debe de ser un área bien ventilada siempre para evitar que ocurra cualquier accidente y sea perjudicial para la salud humana y afecte a la producción de la empresa.

Un sistema de detección de gases debe de siempre tener un sistema de respaldo de baterías para que ante cualquier falta de suministro de energía los detectores siempre estén monitoreando é indicando las concentraciones de gases que hay en el ambiente. Este sistema de backup de baterías debe de tener el suficiente tiempo de autonomía para estar activo durante todo el tiempo en que no haya suministro eléctrico y que se tenga que realizar las labores de reparación tal vez en dicha Caldera, ya que como se explico anteriormente existen algunos gases que no los podemos percibir fácilmente ya que no tienen olor ó no se pueden ver, entre otros.

Los instrumentos de detección de gas combustible no sólo son aprobados para su seguridad en los lugares peligrosos, sino también son sometidos a prueba de funcionamiento debido a la importancia de sus indicaciones para el usuario. Es conveniente que estos dispositivos funcionen en diferentes condiciones desfavorables (por ejemplo, grados extremos de temperatura, humedad y velocidad de viento, altas concentraciones de gas y fluctuaciones del suministro de energía) sin que arrojen errores graves en sus lecturas de salida. Éstos también están sujetos a períodos largos estables y cambios repentinos de la concentración de gas para determinar su comportamiento funcional en condiciones de servicio simuladas. Debido a las extensas pruebas a las que se somete estos dispositivos y a una favorable experiencia de campo, ahora éstos son considerados como una forma de protección.

El objetivo es que esta regla sea aplicada sólo cuando el equipo aprobado para ser usado en el área no esté disponible. No se pretende que según esta regla se utilice los detectores de gas como sustitutos para una adecuada clasificación del área. Estos no deben ser utilizados para volver a clasificar un lugar, ni los servicios esenciales (que no puedan ser paralizados cuando se detecte emisiones de gas) tales como iluminación y calefacción no pueden ser protegidos con los detectores de gas.

3.15 Tipo de comunicación en la supervisión

El tipo de comunicación usada sera ModBus ya que estos detectores de gases tienen este tipo de comunicación. Adicionalmente tienen el protocolo de comunicación HART que también puede ser usado y que sea compatible con otro tipo de monitor.

Todos los detectores de gases que se instalen dentro de la sala de Calderos serán cableados hasta un panel frontal en la parte externa de la sala el cual tendrá una alimentación de 220 Vac ó 24 Vdc. Las características principales del monitor GaxGard XL se muestran en el Anexo B.

Este monitor tiene para configurar hasta 8 sensores de diferentes características de una gran variedad de sensores. La fuente de alimentación acepta una alimentación principal de CA y CC.

El suministro de energía por conmutación homologado por CE, UL, CSA (de 85 a 265 VCA; 50/60 Hz). Si se produce una interrupción del suministro principal de energía, la fuente de alimentación conmuta automáticamente a la batería de reserva. Fuente de alimentación para detectores desde 18 hasta 32 VCC. Opcionalmente, se pueden incorporar dos baterías de 12 VCC/2,2 Ah en la unidad de control. Las baterías suministran 20 minutos de reserva para 8 sensores de combustión catalítica.

La tarjeta principal está equipada con el microcontrolador de mayor rendimiento que ofrece un gran número de interfaces. Además, incluye temporizador de vigilancia, zumbador interno (85 dB), salidas comunes estándar y circuito cargador de batería. Toda la información necesaria se almacena en la tarjeta principal.

Existen las siguientes posibilidades de comunicación:

- Ethernet configurable para TCP/IP ModBus (aislada galvánicamente)
- RS485 configurable para RTU ModBus (aislada galvánicamente)
- USB configurable para RTU ModBus.

Para el uso del software de visualización SCADA se pueden utilizar las tres interfaces. Para el acceso para mantenimiento únicamente se pueden utilizar ambas comunicaciones RTU ModBus (precaución de seguridad).

Se incorporan salidas comunes estándar:

- Alarma común de 2 relés CUB (Conmutador Unipolar Bidireccional) (ALARMA 1 y ALARMA 2)
- Fallo común de 1 relé CBB (Conmutador Bipolar Bidireccional)
- 2 relés comunes direccionables para sirenas.

Cada tarjeta de relés de canales proporciona 8 relés de salidas y están conectadas a la tarjeta principal o a la tarjeta de extensión de sensores (una a una) a través de los conectores. El usuario puede configurar completamente los relés desde el panel frontal o desde el PC conectado mediante el software de configuración.

Se pueden configurar dos relés CUB opcionales (Conmutador Unipolar Bidireccional) por canal (8 relés por 4 canales) para las alarmas individuales:

- Normalmente abierto/cerrado
- Normalmente activado/desactivado
- Con/sin enclavamiento
- Creciente/decreciente
- Votación N de m
- Nuevas alarmas reinvocadas (sólo relés para sirena comunes)
- Agrupación
- Los contactos son de carga resistiva.

Los requisitos mínimos para la instalación del software de configuración del GasGard XL son los siguientes:

- Requisitos de hardware: PC, 512MB RAM, CPU 1,5 GHz o superior
- Requisitos del sistema: Windows 2000, Windows XP

CAPITULO IV NORMAS DE SEGURIDAD EN CALDERAS

4.1 Normas

En el caso de las Calderas también existen hoy en día en todo el mundo muchas Normas o Estándares relacionados con la seguridad que poco a poco, sobre todo en los últimos años, están convergiendo hacia un único Estándar mundial que sea aceptado por todos o casi todos los países. Existen diversidad de Asociaciones, Instituciones u Organismos públicos y privados cuya misión, entre otras, es la elaboración de Normas, enfocadas hacia distintos aspectos de la seguridad (proceso, sistema electrónico, instrumentación, software/hardware, etc.) y dependiendo de los intereses que defienden. Varias Normas o Estándares aplicables, y con poco margen de error podemos decir que la más utilizada a nivel mundial es la americana NFPA (National Fire Protection Association). Desde el punto de vista de la funcionalidad del sistema de seguridades de caldera se utiliza cada vez más la nueva IEC 61508.

4.2 ¿Qué ofrecen las normas y estándares?

Una de las razones por las que la industria escribe sus propias Normas y recomendaciones es la de evitar la regulación por parte de las autoridades públicas. Puesto que las industrias son responsables de sus accidentes, si no se regulan ellas mismas lo harían las autoridades. Normalmente estas intervienen cuando se detectan riesgos que producen alarma social.

Podemos citar las siguientes ventajas que nos ofrecen las Normas:

Experiencias en todo el mundo.

Los distintos Comités de cada Organismo van analizando las causas de los accidentes que se producen y como consecuencia revisan las Normas.

La tendencia en los últimos 25 años ha sido clara y cada vez las Normas son más exigentes en la seguridad.

Permite la comparación imparcial de soluciones.

Son independientes de la tecnología utilizada.

Son valoradas y aprobadas por Organismos competentes (terceros)

Ahorro de Capital y Gastos Operacionales.

Confeccionar una buena especificación sobre seguridad no está al alcance de todos, requiere de personal muy especializado en el tema; en caso contrario lo más recomendable es exigir el cumplimiento de determinadas Normas que han sido elaboradas y preparadas por Comités de expertos, tener presente siempre lo siguiente:

- _ Sin costes inesperados
- _ Principio del Ciclo Global de Seguridad
- _ Sin gastos en Conocimiento Tecnológico
- _ Metodología de Diseño
- _ Experiencia en Validaciones

4.3 Aplicación de normas y estándares

Podemos dividir las Normas en dos grupos:

Estándares propios de la Compañía

Por desgracia es muy habitual encontrar especificaciones muy antiguas que han sido revisadas por personal no suficientemente calificado con resultados nefastos. Podemos encontrarnos con requisitos opuestos u obsoletos o requerimientos que contradicen las recomendaciones de Normas internacionales, por ejemplo:

- _ Basados en las experiencias de las empresas
- _ Referenciados a Normas y Estándares internacionales (IEC, DIN,...)
- _ Requieren la validación por autoridades de inspección (TÜV, UL,...)

Cuando no existen, entonces se aplican:

- _ Estándares internacionales (ISO, IEC,...) o
- _ Estándares nacionales (DIN, BS, ANSI,...) o
- _ Normativas de Organizaciones (ISA SP84, TÜV booklet,...) y
- _ Validación por una autoridad de inspección independiente (TÜV, UL,...)

En cualquiera de los casos el fin último es la reducción del Riesgo y del Coste.

4.4 Historia de los estándares de seguridad

- 1984 Normativas TÜV

- _ Orientadas hacia Tecnología de Microprocesadores - 1989 DIN 19250 / VDE 0801
- _ Orientadas hacia las Aplicaciones, considerando principalmente resoluciones lógicas - 1994 Apéndice a VDE 0801
- _ Armonización con Estándares Internacionales Emergentes - 1996 ISA SP84
- _ Ciclo de Vida de Seguridad, aproximación Cuantitativa - 1997 IEC-61508
- _ Orientada a Aplicaciones, considerando el lazo completo
- _ Ciclo de Vida de Seguridad, aproximación Cualitativa y Cuantitativa

En la siguiente figura se muestra la evolución histórica de los Sistemas de Seguridad



Fig. 4.1 Evolución de las Normas

4.5 Normas de Calderas

Como ya dijimos anteriormente existen muchas Normas y además de distinto tipo. Aquí sólo citaremos las que consideramos más utilizadas y mundialmente aceptadas por usuarios e ingenieros.

Desde el punto de vista del proceso:

- _ NFPA 8501 - Single Burner Boiler Operation
- _ NFPA 8502 - Furnace Explosions/Implosions in Multiple Burner Boilers
- _ NFPA 8504 - Atmospheric Fluidized-Bed Boiler Operation
- _ NFPA 8506 - Heat Recovery Steam Generators
- _ TRD 411-415 - Oil Firing Systems on Steam Boilers
- _ DIN 4787, 4788 - German Standard for Gas/Oil-Burners

Desde el punto de vista del sistema de seguridades:

- _ IEC-61508 - Functional Safety-Related Systems
- _ ISA SP-84.01 - Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries
- _ DIN V 19250 - Fundamental Safety Considerations of Protective Equipment for Instrumentation and Control
- _ DIN V VDE 0801 - Fundamentals of Components in Safety-Related Systems
- _ NFPA (Capítulos "Burner Management System Logic")

Normas española:

- _ UNE-9-109-86 - Equipos de Instrumentación, Control, Alarma y Seguridades para Calderas.

_ RAP - Reglamento de Aparatos a Presión.

4.6 Sistemas de seguridad

4.6.1 Introducción

a) ¿Qué es un "sistema de seguridad"?

Los Sistemas de Seguridades están diseñados para proteger a las personas, equipos y entorno ante condiciones que puedan resultar peligrosas. En estos casos deben actuar inmediatamente llevando la planta o el equipo a una posición segura. Con frecuencia el diseñador del Sistema de Seguridades cae en el error de no considerar al Sistema como algo "global". Se fija demasiado en una parte, por ejemplo el tipo de hardware a utilizar, y descuida otras partes creando lamentables cuellos de botella y puntos débiles.

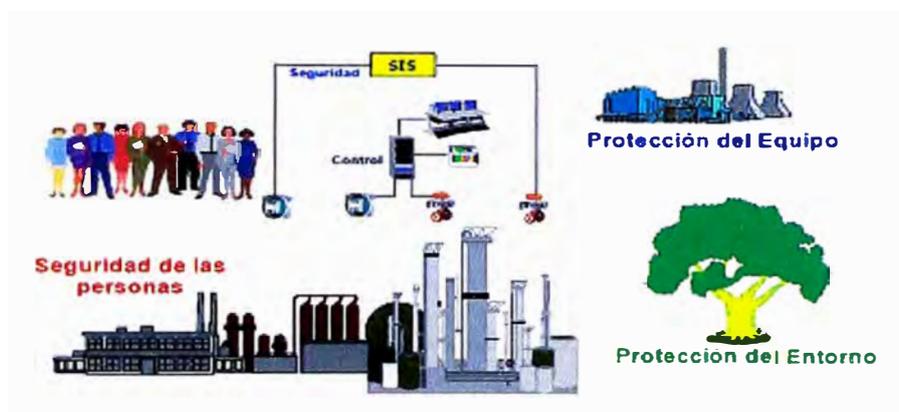


Fig. 4.2 Sistema de Seguridad

4.7 Diseño de los sistemas de seguridad

4.7.1 Consideraciones generales

Cuando nos enfrentamos ante un Sistema de Seguridades debemos fijar unos criterios básicos de diseño que serán vitales en las fases posteriores:

- ¿Qué Tecnología utilizar? : Relés, Estado Sólido, Microprocesador
- ¿Qué Niveles de Redundancia? ¿Depende de la Tecnología o del Nivel de riesgo?
- Dispositivos de campo: ¿Digitales o Analógicos? ¿Redundantes? ¿Cada cuánto deben ser probados? ¿Depende de la aplicación, tecnología o del nivel de riesgo?
- Pruebas periódicas: ¿Cada cuánto? ¿Depende de la tecnología, del nivel de redundancia o del nivel de riesgo?
- ¿Tipos de fallos del Sistema de Seguridad?
- Normativa: ¿Cuál aplicar?

En cualquier proceso existen muchos riesgos que pueden causar un accidente. En la figura se muestran todas las posibles causas de un fallo.



Fig. 4.3 Causas de Fallas

4.7.2 Sistema de control versus sistema de seguridad

Es algo reconocido por todos los expertos en seguridad y recomendado por todas las Normas que ambos Sistemas deben ser independientes. A pesar de todo todavía hoy encontramos técnicos o responsables de planta que no ven o no quieren ver la diferencia entre ambos sistemas y ponen intereses económicos o de otro tipo por encima de la seguridad de la planta.

Es obvio que el utilizar el mismo sistema para ambas funciones (control y seguridad) tiene ventajas (por ejemplo costo y mantenimiento) pero también es evidente que ello tiene muchos riesgos que esperamos aclarar en este capítulo. Supongamos que el mismo Sistema de Control realiza también las funciones de protección y seguridad y que se produce una demanda de seguridad desde el proceso o caldera, por ejemplo, una repentina subida de presión dentro del hogar.

El Sistema de Control debe actuar inmediatamente disparando la caldera, lo que conlleva, por ejemplo, el cierre de todas las válvulas de corte de combustible (SOV=Shut-off Valve).

¿Qué pasa si se produce un fallo en el Sistema de Control? Un fallo de este tipo no debe nunca impedir que la caldera alcance un estado seguro.

En la siguiente Figura se muestra un claro y sencillo ejemplo de fallo peligroso. Si durante la operación de la caldera se había producido un cortocircuito en una salida digital, ni el sistema ni el operador se habían enterado.

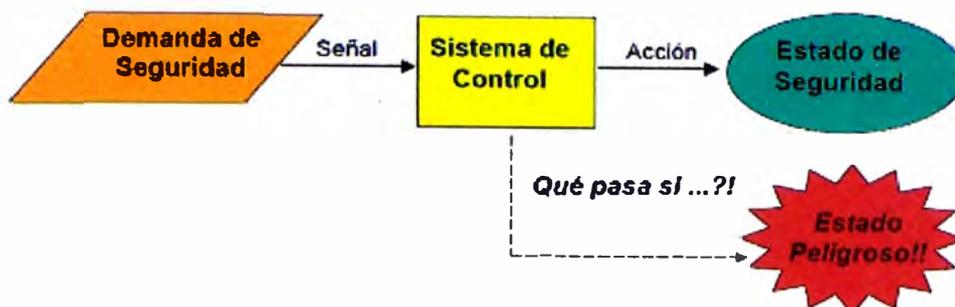


Fig. 4.4 Falla de peligro.

Aunque la CPU ordene el cierre de la válvula (desenergización) ésta no se producirá si el transistor de salida está cortocircuitado.

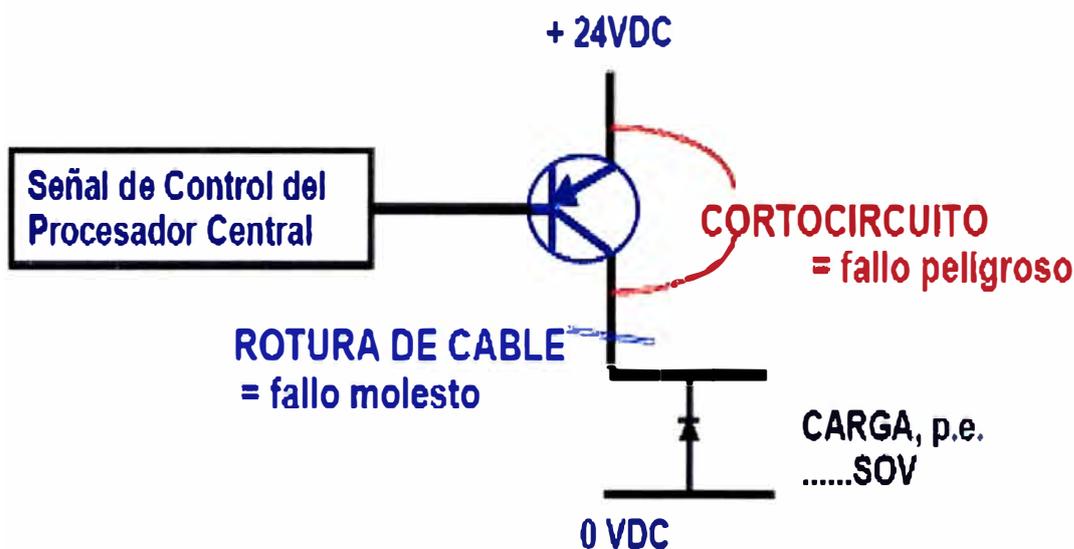


Fig. 4.5 Lógica de una falla

Ahora supongamos que existe un Sistema de Seguridades separado e independiente. El Sistema de Seguridad es también podría fallar y por ello debe cumplir con ciertos criterios de diseño que lo diferencia enormemente del Sistema de Control.

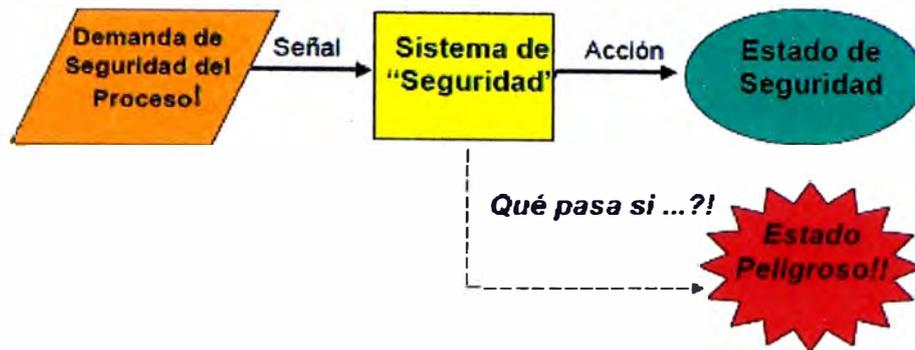


Fig. 4.6 Estado de peligro

El fallo a posición Segura es esencial. Deben minimizarse los "disparos sin motivo" o "fallos molestos".



Fig. 4.7 Fallo del sistema de seguridad

Los tipos de fallos del Sistema de Seguridades o SIS (Safety Instrumented System, según la IEC-61508) son:

- Fallo peligroso no detectado: es el peor, se evita con las pruebas periódicas o mejorando los autodiagnósticos.
 - Fallo peligroso detectado: debe actuarse rápidamente
 - Modo degradado por fallo parcial del sistema redundante: es el mejor, la redundancia aumenta el costo de inversión pero reduce el costo total del ciclo de vida
 - Disparo falso: debe mejorarse el MTBF del sistema, puede inducir al abuso de los bypass.
- La IEC-61508 realiza muchas consideraciones en relación a los fallos del SIS.

Por ejemplo, clasifica los componentes en 2 grupos:

- Componentes Tipo A

- Los modos de fallo de todos los componentes están bien definidos.
- Los componentes pueden ser totalmente probados.
- Existe un buen histórico de datos de fallos (100.000 horas de operación en 2 años en 10 sistemas en diferentes aplicaciones).

Ejemplo: resistencias, relés.

- Componentes Tipo B
- Los modos de fallo no están bien definidos o
- No todos los componentes pueden ser totalmente probados o
- No existe un buen histórico de fallos.

Ejemplo: microprocesadores.

A partir de esta clasificación y considerando el porcentaje de diagnósticos del equipo se establecen los niveles SIL que pueden alcanzarse.

La mayoría de los usuarios han tenido afortunadamente pocas experiencias de fallos en los PLC's. Los típicos fallos del "watchdog" de la CPU o de una salida digital que no se energiza son conocidos por todos, pero muy pocos conocen a fondo la cantidad de posibles fallos que puede tener un PLC, muchos de ellos semi-ocultos y a veces difíciles de reconocer como fallos claros.

A título de ejemplo diremos que según la IEC-61508 ningún sistema basado en microprocesador puede tener un nivel superior a SIL3 aunque el porcentaje de auto-diagnósticos sea del 99%.

4.8 Sistema de control de sistema de seguridad

Neumáticos (DCS/PLC), Relés (Estado sólido) o PLC's

Activo/Dinámico Pasivo/Estático

La mayoría de los fallos son detectados, muchos fallos no son detectados.

Los auto-diagnósticos no son necesarios, son indispensables.

Debe permitir los cambios frecuentes. Los cambios deben minimizarse.

Los Sistemas de Control son activos y dinámicos, de ahí que la mayoría de los fallos se auto detectan por sí solos. Los Sistemas de Seguridades son pasivos y estáticos por lo que muchos fallos permanecen ocultos. Necesitan ser probados manualmente o incorporar auto-diagnósticos, algo que los PLC's de propósito general apenas incorporan. Combinar ambas funciones, control y seguridad, en un sólo sistema tiene ventajas: alimentación única, simplifica el mantenimiento y almacenaje de repuestos, facilita la formación del personal técnico y disminuye el costo. Sin embargo casi todas las Normas, Estándares y recomendaciones de los especialistas desaconsejan insistentemente esta combinación.

Si alguien decidiera ir contra estas recomendaciones debiera tener poderosas y documentadas razones para hacerlo. ¿Cómo se podría justificar en caso de accidente ante un jurado una decisión de este tipo?

Ambos sistemas deben estar física y funcionalmente separados incluyendo los instrumentos y actuadores.



Fig. 4.8 Sistema de Seguridad

CAPITULO V DEFINICIONES

LEL (Lower Explosive Limit); Limite de explosividad bajo que es la mínima concentración de un vapor (usualmente expresado en porcentaje de material en el aire) requerida para producir una explosión.

UEL (Upper Explosive Limit); Limite de explosividad alto que es la máxima concentración de vapor por encima de la cual una explosión no puede producirse debido a que la cantidad de Oxígeno no es suficiente para producir una explosión.

Punto de inflamación; significa la temperatura en la cual un líquido inflamable se transforma en vapor de suficiente concentración que una chispa puede encenderlo. Por ejemplo, la gasolina tiene un punto de inflamación de -40 °C, de modo que puede transformarse en una mezcla explosiva con el aire a cualquier temperatura ambiente normal. Por otro lado, el combustible diesel tiene un punto de inflamación de 40 °C o mayor, de modo que no puede transformarse en vapor explosivo a menos que se caliente sobre temperaturas ambiente normales.

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health.

OSHA; United Status Department of Labor Occupational Safety and Health Administration.

Intrínsecamente seguro, significa que cualquier chispa o efecto térmico que pueda ocurrir en condiciones de uso normal, o en cualquier otra condición de falla que posiblemente ocurra en la práctica, sea incapaz de ocasionar la ignición de gas, vapor o polvo inflamables preestablecidos.

STEL (Short-Term Exposure Limit); Concentración permisible para exposición de corto tiempo que no deberá exceder de 15 minutos, hasta 4 veces por jornada de 8 horas.

TWA (Time Weighted Averages); Concentración promedio ponderada permisible en el tiempo para 8 horas de exposición diaria, 5 días a la semana.

De Propósito General (GP); Son aquellos equipos para uso en un ambiente común y corriente, es decir de uso cotidiano.

ExplosionProof; Son aquellos equipos que están encerrados dentro de una caja que es apta para resistir una explosión en su interior sin incendiar la atmósfera inflamable que la

rodea.

Cero (Zero).- Corresponde al punto ajustado cuando nos cercioramos que el instrumento esta en un ambiente de aire limpio y fresco. Debemos realizarlo antes de cada calibración y/o uso.

Span.- Punto de ajuste que es comparado con un patrón (Gas de Calibración), este puede ser modificado en un procedimiento de calibración.

Calibración; procedimiento mediante el cual se ajusta a un valor fijo un instrumento comparándolo con un valor conocido de un gas de concentración conocida. Conjunto de operaciones que se establecen en condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medición y los valores correspondientes a esa magnitud materializados por patrones.

Verificación.- Comparación directa entre un instrumento y un patrón, destinada a controlar el desgaste o desplazamiento de los puntos Cero (Zero) o Span.

Gas; Son aquellas moléculas que en el aire no tienen: volumen, forma ni dirección

Vapor; Es el estado gaseoso de una sustancia que bajo condiciones normales es sólido o líquido.

IDLH: Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud. Es el valor máximo de concentración de una sustancia a la que se puede escapar, sin daños a la salud, en un periodo hasta de 30 minutos.

Interferentes; Característica que tienen los sensores electroquímicos para detectar gases distintos del que se desea medir. Esto se debe a que el electrolito del sensor puede reaccionar químicamente con más de un compuesto. El fabricante generalmente entrega información de los interferentes más comunes para cada sensor en tablas donde se indica la concentración de prueba y la respuesta obtenida.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Previo a la instalación de los detectores de gases fijos se debe de realizar un monitoreo con detectores de gases portátiles para contrastar y verificar las concentraciones de los gases en la sala de calderos y en los lugares de posibles fugas ó emisiones de gases.

Los detectores de gases deben de ser verificados y calibrados con frecuencia por personal calificado, ya que los sensores se descalibran por muchos factores sean las concentraciones de dichos gases, el tiempo de exposición, temperatura, humedad, entre otras.

La sala de calderos debe de ser un área en la medida de lo posible bien ventilada para evitar que los sensores se descalibren ó dañen.

La ubicación de los sensores debe de ser analizada a detalle para que puedan detectar la presencia de los gases; ya que como se sabe existen gases que tienen diferentes densidades. Se deben de utilizar implementos de seguridad adecuados EPP para realizar trabajos en el área de calderos.

Los detectores de fuego deben de ser una alternativa indispensable en este tipo de áreas ya que estos pueden ayudar a prevenir un daño a la producción de la empresa.

La adquisición de los detectores de gases ó detectores de llama deben ser tal que cumplan todas las especificaciones técnicas que requiera dicha area. Dependiendo del área estos pueden ser de Propósito General, Explosion Proof, Intrínsecamente Seguros.

Todos los detectores deben de tener un respaldo de baterías en caso haya un corte de energía estos estén monitoreando en todo instante para así poder indicar las concentraciones de gases en el ambiente a monitorear.

Los sistemas de emergencia del área de Calderos deben estar activos en todo instante, alimentados por un sistema de respaldo de baterías.

Se debe de reducir la contaminación ambiental en nuestro país, esto se puede lograr haciendo leyes para que se exija a las industrias en general a que reduzcan las emisiones de gases; es decir sean controladas y así de algún modo se pueda evitar la destrucción de nuestra capa de ozono.

El Ministerio de Energía y Minas y organismos competentes deben de dictar Leyes que exijan a las empresas industriales en el Perú a que estas estén obligadas a tener Detectores

de Gases para que así estas reduzcan en algo la contaminación y el personal que labore en dicha empresa este más seguro y protegido ante la exposición de los diferentes gases que se emanan de las diferentes maquinas; en especial el monóxido de carbono que es un gas que está presente en casi todo lugar.

Se deben de colocar alarmas sonoras de regular potencia y visuales que alerten al personal que trabaja en dicha área para que pueda evacuar y tomar las medidas adecuadas.

Se deben de realizar simulacros y dar cursos de capacitación de prevención de riesgos en caso ocurra alguna fuga de gases tóxicos.

ANEXO A
Grados de protección de equipos e interferencias de gases

INGRESS PROTECTION (IP) CODES (IEC/EN 60529)

FIRST NUMERAL

Protection against solid bodies

No Protection	0
Objects Greater Than 50mm	1
Objects Greater Than 12mm	2
Objects Greater Than 2.5mm	3
Objects Greater Than 1.0mm	4
Dust-Protected	5
Dust-Tight	6

SECOND NUMERAL

Protection against liquids

0	No Protection
1	Vertically Dripping Water
2	Angled Dripping Water - 75° to 90°
3	Sprayed Water
4	Splashed Water
5	Water Jets
6	Heavy Seas
7	Effects of Immersion
8	Indefinite Immersion

Example: IP65 equipment is dust-tight and protected against water jets

Enclosure Ratings

NEMA, UL, & CSA Type Rating	Approximate IEC/IP classification	Abbreviated protection description
1	IP30	Indoor, from contact with contents
2	IP31	Indoor, limited, from dirt & water
3	IP64	Outdoor, from rain, sleet, windblown dust & ice damage
3R	IP32	Outdoor, from rain, sleet & ice damage
4	IP66	Indoor & outdoor, from windblown dust, rain, splashing & hose directed water & ice damage
4X	IP66	Indoor & outdoor, from corrosion, windblown dust, rain, splashing & hose directed water & ice damage
6	IP67	Indoor & outdoor, from hose-directed water, water entry during submersion & ice damage
12	IP55	Indoor, from dust, falling dirt & dripping non-corrosive liquids
13	IP65	Indoor, from dust, spraying water, oil & non-corrosive liquids

Class I: Flammable Gases, Vapors or Liquids

Class I Temperature Codes

(Maximum surface temperature of apparatus)

Division 1 and 2

T1 ($\leq 450^{\circ}\text{C}$)

T2 ($\leq 300^{\circ}\text{C}$)

T2A, T2B, T2C, T2D
($\leq 280^{\circ}\text{C}$, $\leq 260^{\circ}\text{C}$, $\leq 230^{\circ}\text{C}$, $\leq 215^{\circ}\text{C}$)

T3 ($\leq 200^{\circ}\text{C}$)

T3A, T3B, T3C
($\leq 180^{\circ}\text{C}$, $\leq 165^{\circ}\text{C}$, $\leq 160^{\circ}\text{C}$)

T4 ($\leq 135^{\circ}\text{C}$)

T4A ($\leq 120^{\circ}\text{C}$)

T5 ($\leq 100^{\circ}\text{C}$)

T6 ($\leq 85^{\circ}\text{C}$)

Zone 0, 1, and 2

T1 ($\leq 450^{\circ}\text{C}$)

T2 ($\leq 300^{\circ}\text{C}$)

-

T3 ($\leq 200^{\circ}\text{C}$)

-

T4 ($\leq 135^{\circ}\text{C}$)

T5 ($\leq 100^{\circ}\text{C}$)

T6 ($\leq 85^{\circ}\text{C}$)

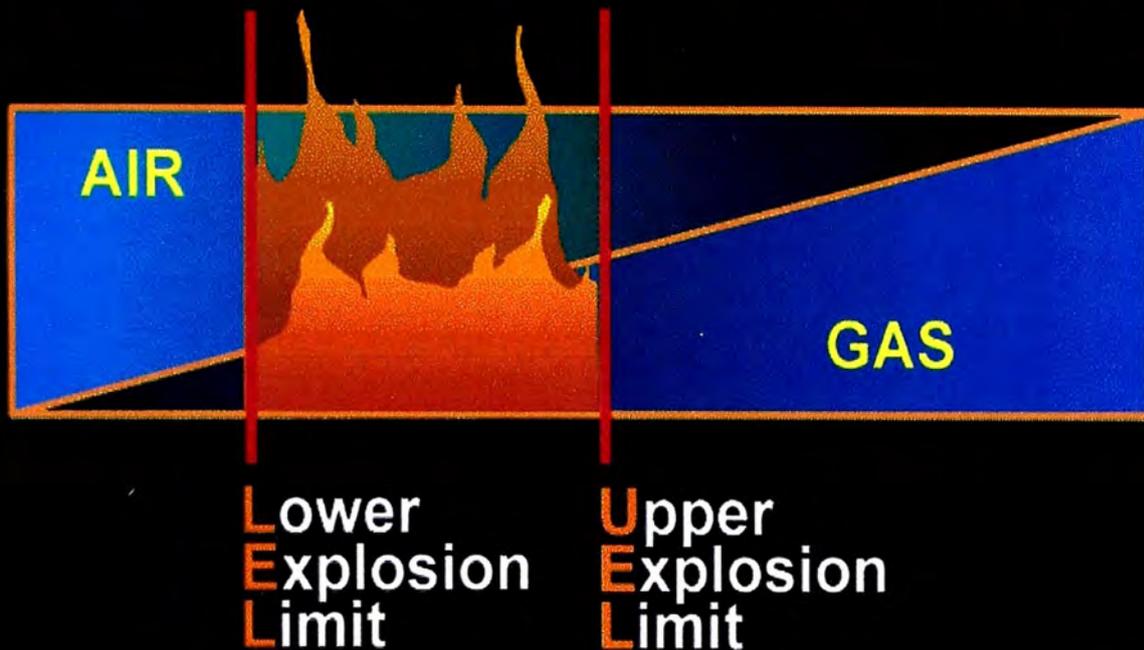
Tabla 3-2. Respuesta del sensor a interferentes

INTERFERENTE	CONCENTRACIÓN (PPM)	CO filtrado	H ₂ S	CL ₂	SO ₂ filtrado	NO	NO ₂	HCN	HCL
Acetona	1000	0	0	0	0	No hay datos	0	No hay datos	No hay datos
Acetileno	12000	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Amoniaco	25	0	0	0	0	No hay datos	0	0	0
Arsina	1	0	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	1
Benceno	20	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	0	No hay datos
Bromo	2	0	0	2,5	No hay datos	0	0	0	No hay datos
Dióxido de carbono	5000	0	0	0	0	0	0	0	0
Carbono Disulfuro	15	0	0	0	0	0	No hay datos	0,1	0
Carbono Monóxido	100	100	0,3	0	0,2	No hay datos	0	0	0
Cloro	5	0	-3	5	0	0	0	-0,2	0
Diborano	20	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0
Etileno	50	100	0,1	0	0	No hay datos	0	-0,3	No hay datos
Alcohol etílico	100	115	0	0	0	No hay datos	No hay datos	0	No hay datos
Óxido de etileno	10	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Éter	400	3	0	0	0	No hay datos	0	No hay datos	No hay datos
Flúor	5	0	0	2,5	0	0	No hay datos	0	0
Freón 12	1000	0	0	0	0	0	0	0	0
Germano	1	0	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	1
Hexano	500	0	0	0	0	No hay datos	0	0	No hay datos
Hidrógeno	500	200	0,5	0	15	No hay datos	-10	0	0
Hidrógeno Cloruro	50	0	0	0	0	4	0	No hay datos	50
Hidrógeno Cianuro	10	0	0	0	0	0	0	10	0
Hidrógeno Fluoruro	10	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Hidrógeno Sulfuro	10	1	10	-0,1	0	1	-8	50	40
MEK	200	0	0	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos
Mercaptanes (Metilo)	5	0	4,5	-0,1	0	1	No hay datos	6	No hay datos
Metano	50000	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido nítrico	100	0	2	0	2	100	No hay datos	-3	40
Nitrógeno Dióxido	5	-1	-4	0,5	-5	1,5	5	No hay datos	0
Fosfamina	0,5	No hay datos	0	0	No hay datos	0	No hay datos	No hay datos	2
Silano	5	0	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	7
Dióxido de sulfuro	10	0	0,3	0	10	0,5	No hay datos	-0,3	0
Tricloro-etileno	1000	0	0	0	0	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos

Tabla 3-2. Respuesta del sensor a interferentes continuación

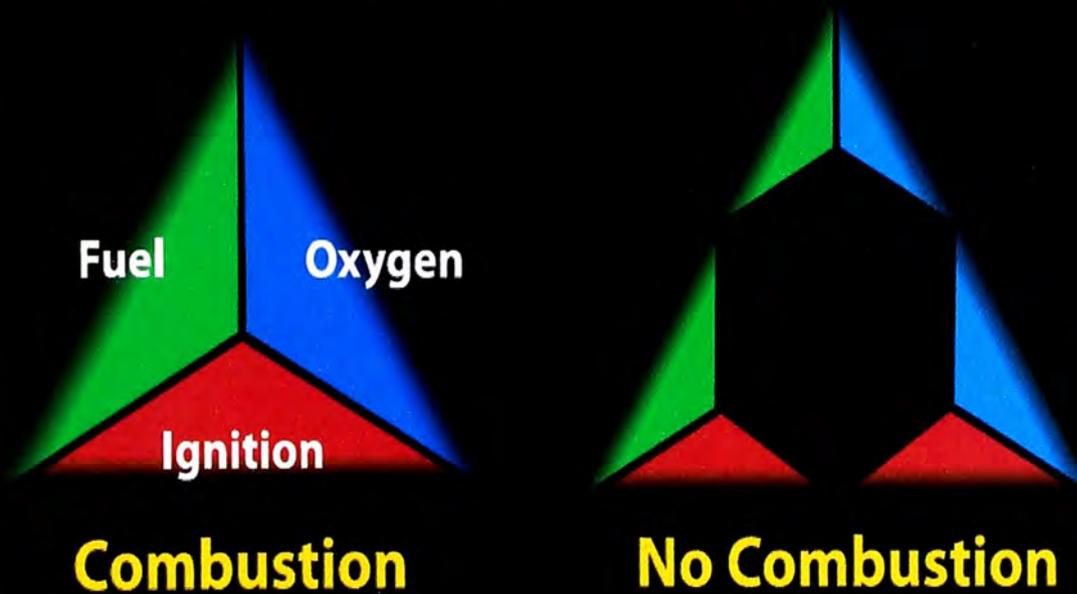
INTERFERENTE	CONCENTRACIÓN (PPM)	F ₂	NH ₃	H ₂	EtO
Acetona	1000	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Acetileno	12000	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Amoníaco	25	0	25	No hay datos	0
Arsina	1	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Benceno	20	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Bromo	2	12	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Dióxido de carbono	5000	0	0	0	No hay datos
Carbono Disulfuro	15	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Carbono Monóxido	100	0	0	2	No hay datos
Cloro	5	10	0	0	0
Diborano	20	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Etileno	50	0	0	40	No hay datos
Alcohol etílico	100	0	No hay datos	No hay datos	0
Óxido de etileno	10	No hay datos	No hay datos	No hay datos	10
Éter	400	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Flúor	5	5	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Freón 12	1000	0	0	0	0
Germano	1	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Hexano	500	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Hidrógeno	500	0	No hay datos	500	No hay datos
Hidrógeno Cloruro	50	0	0	0	No hay datos
Hidrógeno Cianuro	10	0	0	3	0
Hidrógeno Fluoruro	10	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Hidrógeno Sulfuro	10	-0,2	0,5	1	No hay datos
MEK	200	0	0	No hay datos	3
Mercaptanes (Metilo)	5	-0,2	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Metano	5000	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Óxido nítrico	100	0	0	3	No hay datos
Nitrógeno Dióxido	5	1	No hay datos	No hay datos	0
Fosfamina	0,5	0	0	0	0
Silano	5	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Dióxido de sulfuro	10	0	0	0	No hay datos
Tricloroetileno	1000	0	No hay datos	No hay datos	No hay datos

Gas-to-air Mixture



Rangos de Explosividad

Fire Triangle



Elementos Principales para la Combustión

ANEXO B
Características técnicas de conexión de sensores y barrera zener

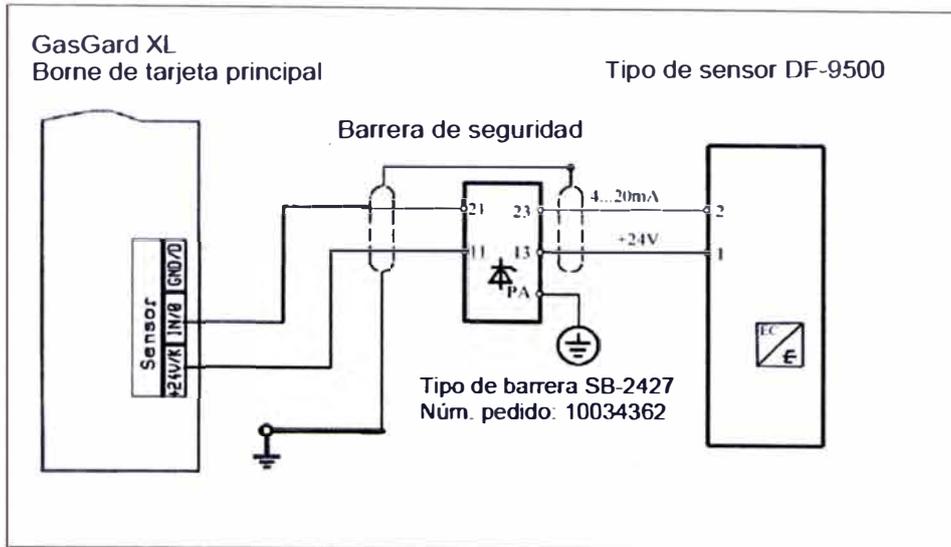


Diagrama con Barrera Zenner

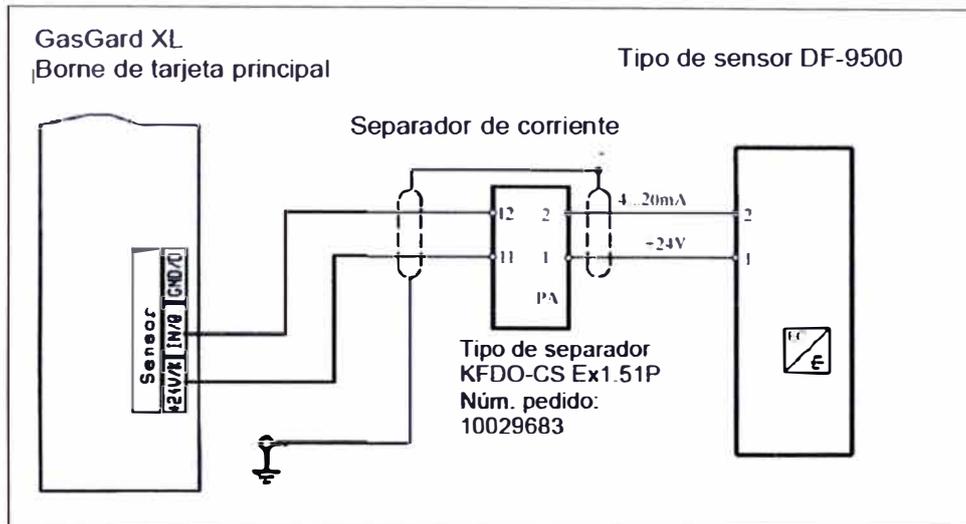


Diagrama con Separador de Corriente

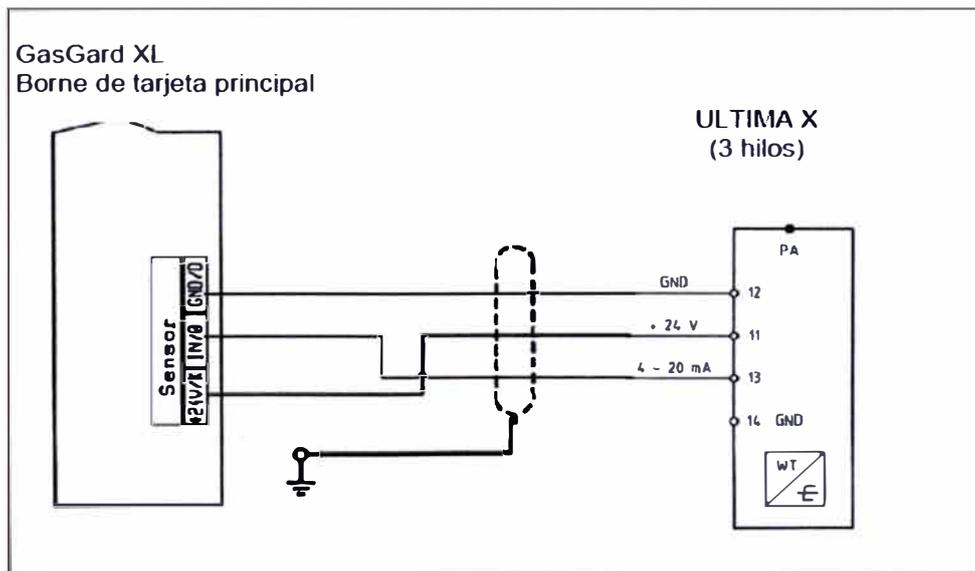


Tabla A Tipos de cables para sensores

Tipo de Sensor	Número de Cables	Máxima Carga	Máxima Longitud	Observaciones
D-7600 D-7602 F-715	5 x 0.75 mm ² 5 x 1.5 mm ²	36 ohms 36 ohms	750 m 1,500 m	Necesario cable apantallado
D-8101 D-8113 D-8201 D-8213	4 x 1.5 mm ²	36 ohms	1,500 m	Necesario cable apantallado
DF-9500 DF-9200	2 x 1.5 mm ²	500 ohms (100 ohms)	20,000 m (4,000 m)	Necesario cable apantallado Los valores entre paréntesis solo para DF-9500 en conjunción con barreras zener (operación en área clasificada, cable color azul). Seguir las instrucciones para uso de barreras zener o aislamiento galvánico. Barrera zener y aisladores galvánicos deben instalarse fuera del área clasificada
DF-7010 DF-7100 DF-8601	3 x 1.5 mm ²	20 (200*)	1000m	Necesario cable apantallado.
DF-8201 DF-8250	3 x 1.5 mm ²			Necesario cable apantallado
DF-8401	3 x 1.5 mm ²	20 (400*)	1000m	Necesario cable apantallado
GD10	3 x 1.5 mm ²	20	840m	Necesario cable apantallado
SafEye	4 x 1.5 mm ²	20	420m	Necesario cable apantallado
Ultima 2cables	2 x 22AWG		3650m	Necesario cable apantallado
Ultima 3 cables	3 x 22AWG 3 x 18AWG 3 x 16AWG 3 x 12AWG		300m 750m 1250m 3000m	Necesario cable apantallado

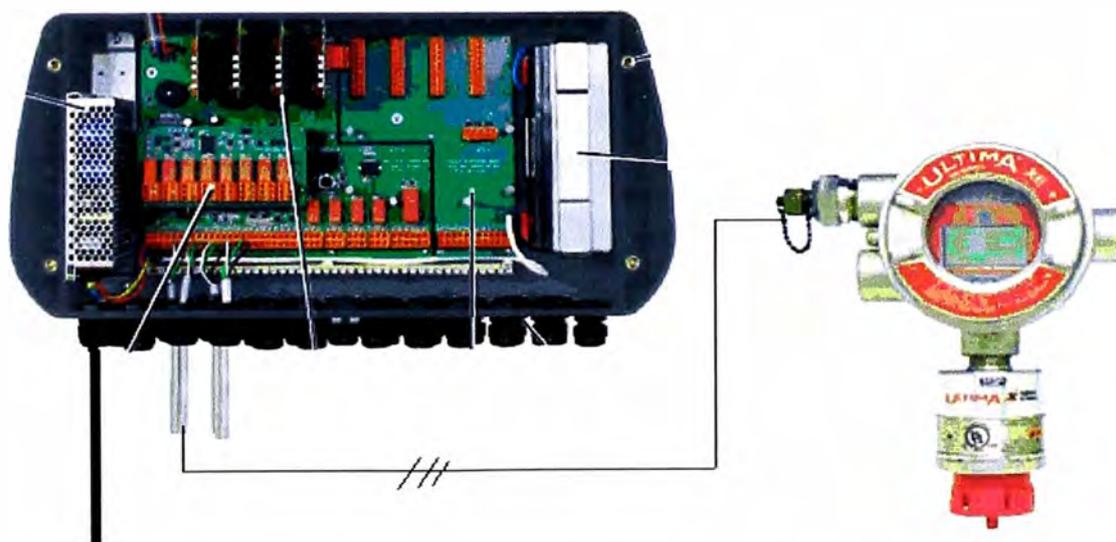
*carga máxima para salida 4...20mA (señal)

Especificaciones Técnicas del Monitor GasGard

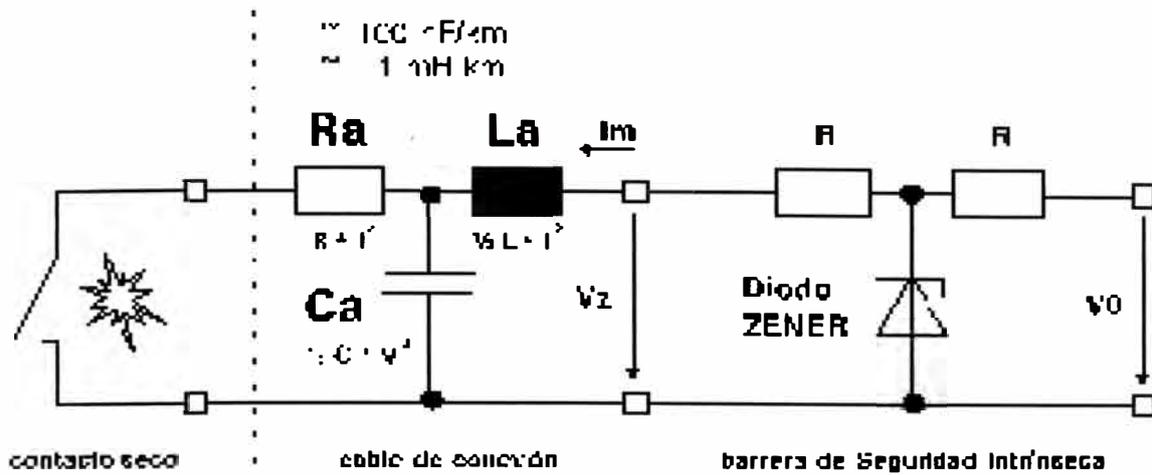
Especificaciones y certificaciones técnicas

Características técnicas

Fuente de alimentación	85 VAC - 265 VAC 50/60 Hz 18 - 32 VDC
Fuente de alimentación del sensor	Corriente constante 80 mA - 430 mA 18-32 VCC
Modos de conexión	2, 3 hilos
Tarjeta de bornes	para cables de hasta 2,5 mm ²
Señales de entrada	0 - 200 mV CC, 4 - 20 mA
Umbral de alarma	ALARMA 1 (advertencia) ajustable desde 5 hasta 100% e.c. *) (80% LEL para versión ATEX) ALARMA 2 (alarma) ajustable desde 5 hasta 100% e.c. (80% LEL para versión ATEX)
Velocidad electrónica de respuesta	< 1 seg. para alcanzar 100 % e.c.
Desviación span/cero	< ±0,5 % e.c. ±1 dígito/mes
Precisión/Repetibilidad	< ±1 % e.c. ±1 dígito/mes
Temperatura de funcionamiento	-10 °C - +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 °C - +75 °C
Humedad ambiental	Hasta 90% de HR sin condensación
Índice de protección	IP 56
Dimensiones (AnxAlxPr)	515 mm x 277 mm x 129 mm
Peso	5 kg 8 kg (con batería)



220 VAC



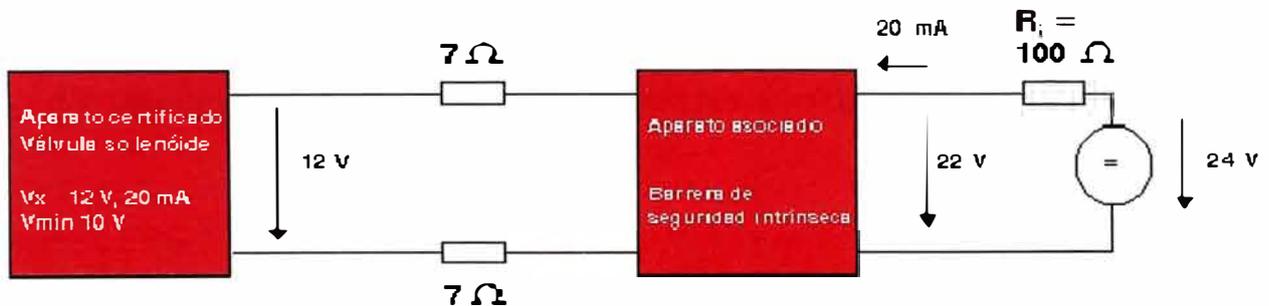
Ex i

- El cierre del contacto libera la energía del condensador
- La apertura del contacto libera la energía del inductor

Ejemplo de calculo de la resistencia disponible para la conexión de barreras

Barrera unitaria

Ejemplo válvula solenoide de seguridad intrínseca



Resistencia máxima que puede haber en el circuito para que funcione:

$$\text{Resistencia total en el lazo: } R_{\text{lazo}} = 24 \text{ V} / 0,02 \text{ A}$$

$$R_{\text{lazo}} = 1200 \text{ W}$$

Resistencia debida a componentes del circuito:

$$R_{\text{certificado}} 12\text{V}/0,02 \text{ A} = 600 \text{ W}$$

$$+ R_{\text{cable}} = 14 \text{ W}$$

$$+ R_{\text{i}} = 100 \text{ W}$$

$$\text{Total} = 714 \text{ W}$$

Máxima resistencia que puede tener la barrera: $1200 - (600 + 14 + 100) = 486 \text{ W}$

BIBLIOGRAFÍA

1. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) www.osha.gov
2. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
www.cdc.gov/niosh/homepage.html
3. American National Standards Institute (ANSI) www.ansi.org
4. National Fire Protection Association (NFPA) www.nfpa.org
5. Mine safety Company (MSA) www.msagasdetection.com
6. Una guía práctica para monitorear gases peligrosos
<http://www.atsintech.com/tablas/ISTBook.pdf>
7. Ministerio de Energía y Minas www.mem.gob.pe
8. Manual de Calderas <http://www.scribd.com/doc/18360134/manual-calderas>
9. Manual de Calderas <http://www.scribd.com/doc/18360134/manual-calderas>
10. Libro Katsuhiko Ogata, "Ingeniería de Control Moderna"
11. Libro Antonio Creus, "Instrumentación Industrial"
12. Libro José Acedo Sánchez "Instrumentación y Control Avanzados de Procesos"